

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 5 月 6 日 (06.05.2005)

PCT

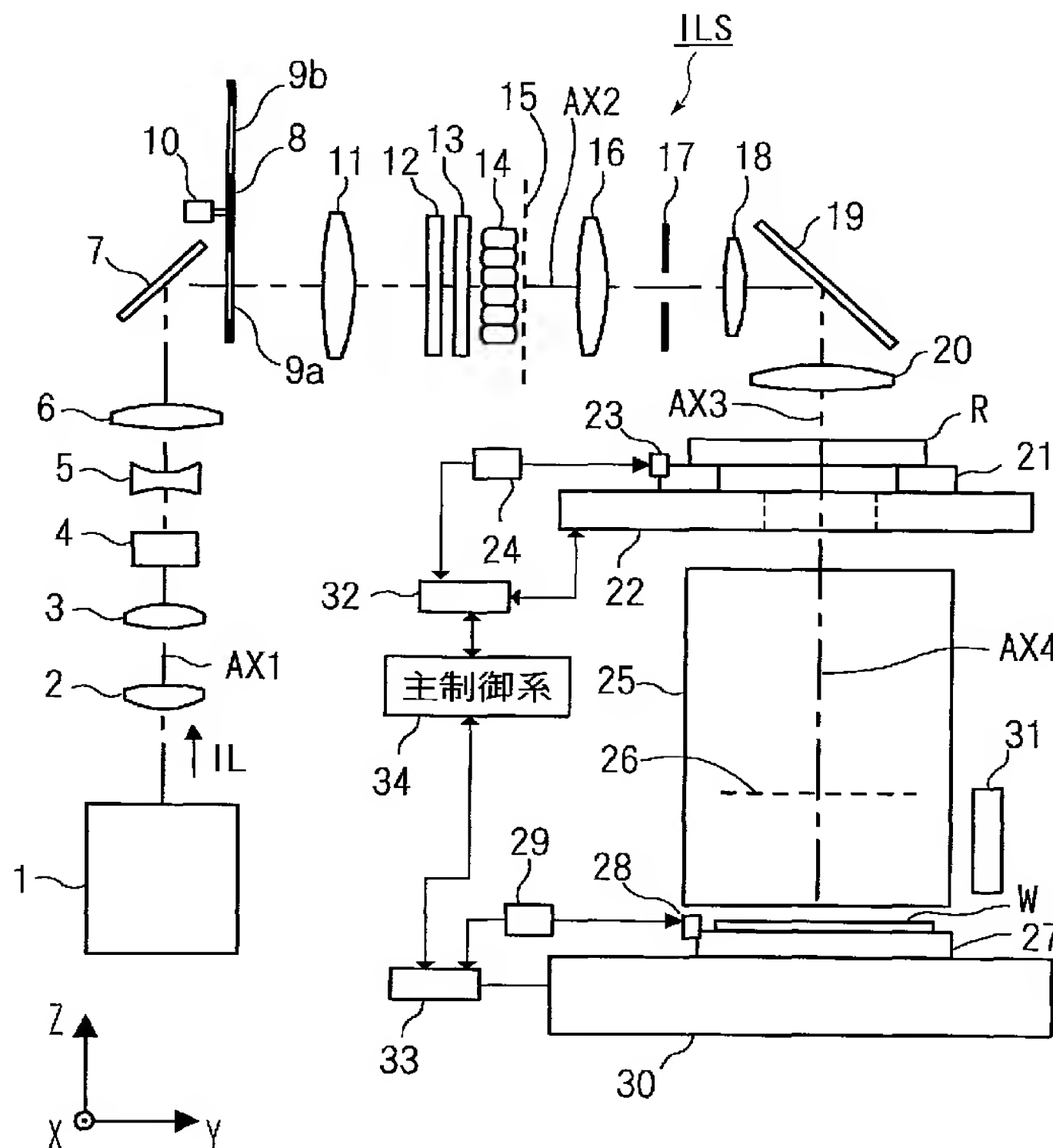
(10) 国際公開番号
WO 2005/041277 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H01L 21/027, G03F 7/20, G02B 19/00 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/015853 (72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 白石 直正 (SHI-RAISHI, Naomasa) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン 知的財産部内 Tokyo (JP).
- (22) 国際出願日: 2004 年 10 月 26 日 (26.10.2004) (74) 代理人: 大森 聡 (OMORI, Satoshi); 〒2140014 神奈川県川崎市多摩区登戸 2 0 7 5 番 2-5 0 1 大森特許事務所 Kanagawa (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ: 特願 2003-367963 2003 年 10 月 28 日 (28.10.2003) JP

[続葉有]

(54) Title: LIGHTING OPTICAL DEVICE AND PROJECTION ALIGNER

(54) 発明の名称: 照明光学装置及び投影露光装置



34... MAIN CONTROL SYSTEM

(57) Abstract: A lighting optical device and a projection aligner capable of reducing a light quantity loss when a mask is illuminated with a polarized lighting light. A lighting optical system (ILS) for illuminating a reticle (R) with a lighting light (IL) and a projection optical system (PL) for projecting the pattern image of the reticle (R) onto a wafer (W) are provided. A lighting light (IL) emitted from an exposure light source (1) in a linearly polarized state in the lighting optical system (ILS) passes through first and second double-refraction members (12, 13) having different advanced-phase-axis directions and is converted into a polarized state that is substantially linearly polarized in a circumferential direction with the optical axis as the center in an almost specific annular area, and then illuminates the reticle (R) under an annular illuminating condition after passing through a fly-eye lens (14).

(57) 要約: マスクを所定の偏光状態の照明光で照明する際の光量損失を少なくできる照明光学装置及び投影露光装置である。レチクル (R) を照明光 (IL) で照明する照明光学系 (ILS) と、レチクル (R) のパターンの像をウエハ (W) 上に投影する投影光学系 (PL) とを有する。照明光学系 (ILS) において、露光光源 (1) から直線偏光状態で射出された照明光 (IL) は、進相軸の方向が異なる第 1 及び第 2 の複屈折部材 (12, 13) を通過して、ほぼ特定の輪帯状の

領域で光軸を中心とする円周方向に実質的に直線偏光となる偏光状態に変換された後、フライアイレンズ (14) 等を経てレ

[続葉有]

WO 2005/041277 A1



(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,

KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 補正書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

照明光学装置及び投影露光装置

技術分野

- [0001] 本発明は、例えば半導体集積回路(LSI等)、撮像素子、又は液晶ディスプレイ等の各種デバイスを製造するためのリソグラフィ工程で使用される照明技術及び露光技術に関し、更に詳しくはマスクパターンを所定の偏光状態の光で照明する照明技術及び露光技術に関する。また、本発明はその露光技術を用いるデバイス製造技術に関する。

背景技術

- [0002] 半導体集積回路又は液晶ディスプレイ等の電子デバイスの微細パターンの形成に際しては、形成すべきパターンを4〜5倍程度に比例拡大して描画したマスクとしてのレチクル(又はフォトマスク等)のパターンを、投影光学系を介して被露光基板(感光体)としてのウエハ(又はガラスプレート等)上に縮小して露光転写する方法が用いられている。その露光転写に際して、ステッパ等の静止露光型及びスキャニング・ステッパ等の走査露光型の投影露光装置が用いられている。投影光学系の解像度は、露光波長を投影光学系の開口数(NA)で割った値に比例する。投影光学系の開口数(NA)とは、露光用の照明光のウエハへの最大入射角の正弦(sin)に、その光束の通過する媒質の屈折率を乗じたものである。
- [0003] 従って、半導体集積回路等の微細化に対応するために、投影露光装置の露光波長は、より短波長化されてきた。現在、露光波長はKrFエキシマーレーザーの248nmが主流であるが、より短波長のArFエキシマーレーザーの193nmも実用化段階に入りつつある。そして、更に短波長の波長157nmのF₂レーザーや、波長126nmのAr₂レーザー等の、いわゆる真空紫外域の露光光源を使用する投影露光装置の提案も行なわれている。また、短波長化のみでなく、投影光学系の大開口数化(大NA化)によっても高解像度化は可能であるので、投影光学系をより一層大NA化するための開発もなされており、現在の最先端の投影光学系のNAは、0.8程度である。
- [0004] 一方、同一の露光波長、同一NAの投影光学系を使用しても、転写されるパターン

の解像度を向上する技術として、いわゆる位相シフトレチクルを用いる方法や、照明光のレチクルへの入射角度分布を所定分布に制御する輪帯照明、2極照明、及び4極照明などのいわゆる超解像技術も実用化されている。

それらの内で、輪帯照明は、照明光のレチクルへの入射角度範囲を所定角度に制限する、即ち照明光学系の瞳面における照明光の分布を、照明光学系の光軸を中心とする所定の輪帯領域内に限定することにより、解像度及び焦点深度の向上に効果を発揮するものである(例えば特開昭61-91662号公報参照)。一方、2極照明、4極照明は、入射角度範囲だけでは無く、レチクル上のパターンが特定の方向性を有するパターンである場合に、照明光の入射方向についてもそのパターンの方向性に対応した方向に限定することで、解像度及び焦点深度を大幅に向上するものである(例えば特開平4-101148号公報またはそれと同等な米国特許第6233041号明細書、特開平4-225357号公報またはそれと同等な米国特許第6211944号明細書参照)。

[0005] なお、レチクル上のパターンの方向に対して照明光の偏光状態を最適化して、解像度及び焦点深度を向上する試みも提案されている。この方法は、照明光を、パターンの周期方向に直交する方向に、即ちパターンの長手方向に平行な方向に偏光方向(電場方向)を有する直線偏光光とすることにより、転写像のコントラスト等を向上するものである(例えば、特許文献1、非特許文献1参照)。

[0006] また、輪帯照明においても、照明光の偏光方向を、照明光学系の瞳面において照明光が分布する輪帯領域においてその円周方向と合致させ、投影像の解像度やコントラスト等を向上させようとする試みも提案されている。

特許文献1: 特開平5-109601号公報

非特許文献1: Timothy A. Brunner, et al.: "High NA Lithographic imaging at Brewster's angle", SPIE (米国) Vol.4691, pp.1-24(2002)

[0007] 上記の如き従来の技術において、輪帯照明を行う場合に照明光学系の瞳面において、照明光の偏光状態を輪帯領域の円周方向に実質的に一致する直線偏光にしようとする、照明光量の損失が多くなり、照明効率が低下するという問題があった。

これに関して詳述すると、近年主流である狭帯化KrFエキシマーレーザー光源から

射出される照明光は一様な直線偏光である。これをそのままの偏光状態を保ってレチクルに導くなら、レチクルは一様な直線偏光光で照明されるため、上記のような照明光学系の瞳面の輪帯領域の円周方向に一致する直線偏光光を実現することができないことは言うまでもない。

[0008] 従って、上記の偏光状態を実現するには、光源から射出される直線偏光光を一度ランダム偏光の光に変換した後に、その輪帯領域の各部において、偏光フィルターや偏光ビームスプリッター等の偏光選択素子を使用して、ランダム偏光からなる照明光から所望の偏光成分を選択するような方法等を採用する必要がある。この方法では、ランダム偏光の照明光のエネルギーのうち所定の直線偏光成分に含まれるエネルギーしか、即ちほぼ半分のエネルギーしかレチクルへの照明光として使用することができないため、照明光量の損失が大きく、ひいてはウエハへの露光パワーの損失が大きく、露光装置の処理能力(スループット)が低下してしまうという問題があった。

[0009] 同様に、2極照明又は4極照明等の複数極照明を使用する場合にも、照明光学系の瞳面において、2極又は4極の領域における照明光の偏光状態を所定状態に設定しようとする、照明効率が低下するという問題があった。

発明の開示

[0010] 本発明は、このような課題に鑑みてなされたものであり、レチクル等のマスクを所定の偏光状態の照明光で照明する際の光量損失を少なくできる露光技術を提供することを第1の目的とする。

更に本発明は、照明光学系の瞳面上の輪帯、2極、又は4極等の領域における照明光の偏光状態を所定の状態に設定するに際して、照明光量の低下を少なくでき、その結果として処理能力を殆ど低下させることなく解像度等を向上できる照明技術及び露光技術を提供することを第2の目的とする。

また、本発明は、上記露光技術を用いて、高性能のデバイスを高い処理能力で製造できるデバイス製造技術を提供することをも目的とする。

[0011] 以下の本発明の各要素に付した括弧付き符号は、後述の本発明の実施形態の構成に対応するものである。しかしながら、各符号はその要素の例示に過ぎず、各要素

をその実施形態の構成に限定するものではない。

本発明による第1の投影露光装置は、光源(1)からの照明光を第1物体(R)に照射する照明光学系(ILS)と、その第1物体上のパターンの像を第2物体(W)上に投影する投影光学系(25)とを有する投影露光装置であって、その光源は、その照明光を実質的に単一の偏光状態で生成し、その照明光学系は、その照明光の進行方向に沿って配置される複数の複屈折部材(12, 13)を有し、かつその複数の複屈折部材のうち少なくとも1つの複屈折部材の進相軸の方向が、他の複屈折部材の進相軸の方向と異なるものであり、その照明光のうち、特定の入射角度範囲でその第1物体に照射される特定照明光を、S偏光を主成分とする偏光状態の光とするものである。

[0012] また、本発明による第1の照明光学装置は、光源(1)からの照明光を第1物体(R)に照射する照明光学装置であって、その照明光の進行方向に沿って配置される複数の複屈折部材(12, 13)を有し、かつその複数の複屈折部材のうち少なくとも1つの複屈折部材の進相軸の方向が、他の複屈折部材の進相軸の方向と異なるものであり、その光源から供給される実質的に単一の偏光状態である照明光のうち、その第1物体に特定の入射角度範囲で照射される特定照明光を、S偏光を主成分とする偏光状態の光とするものである。

[0013] 斯かる本発明によれば、例えばその複数の複屈折部材の厚さ分布をそれぞれ所定分布に設定しておくことによって、その光源から射出された照明光が、その複数の複屈折部材を通過した後の偏光状態を、例えば光軸を中心とする輪帯状の領域においてその光軸を中心とする円周方向に偏光した状態を主成分とするようにできる。そこで、その複数の複屈折部材の射出面を例えば照明光学系の瞳面に近い位置に配置しておくことによって、その輪帯状の領域を通過した照明光(特定照明光)は、光量損失の殆ど無い状態で、その第1物体をS偏光を主成分とする所定の偏光状態で照明する。

[0014] この場合、その第1物体に照射されるその照明光を、その特定照明光に制限する光束制限部材(9a, 9b)を有してもよい。これによって、その第1物体はほぼ輪帯照明の条件で照明される。この輪帯照明で、その第1物体上でその照明光をほぼS偏光にすることによって、その第1物体上で任意の方向に微細ピッチで配列されたライ

ン・アンド・スペースパターンの投影像は、主に偏光方向がラインパターンの長手方向に平行な照明光によって結像されるため、コントラスト、解像度、焦点深度等の結像特性が改善される。

[0015] また、その光束制限部材は、更にその第1物体に照射されるその照明光の入射方向を特定の実質的に離散的な複数の方向に制限してもよい。これによって、2極照明や4極照明等で照明が行われるため、所定方向に微細ピッチで配列されたライン・アンド・スペースパターンの結像特性が改善される。

次に、本発明による第2の投影露光装置は、光源(1)からの照明光を第1物体(R)に照射する照明光学系(1LS)と、その第1物体上のパターンの像を第2物体(W)上に投影する投影光学系(25)とを有する投影露光装置であって、その光源は、その照明光を実質的に単一の偏光状態で生成し、その照明光学系は、その照明光の進行方向に沿って配置される複数の複屈折部材(12, 13)を有し、かつその複数の複屈折部材のうち少なくとも1つの複屈折部材の進相軸の方向が、他の複屈折部材の進相軸の方向と異なるものであり、その照明光学系中の瞳面又はその近傍の面内における、その照明光学系の光軸を中心とする所定の輪帯領域である特定輪帯領域(36)内の少なくとも一部の領域を通過するその照明光が、その特定輪帯領域の円周方向を偏光方向とする直線偏光を主成分とする偏光状態であるものである。

[0016] 斯かる本発明によれば、例えばその複数の複屈折部材の厚さ分布をそれぞれ所定分布に設定しておくことによって、その光源から射出された照明光のうちでその特定輪帯領域を通過する照明光の少なくとも一部の偏光状態が、光量損失の殆ど無い状態で、その特定輪帯領域の円周方向を偏光方向とする直線偏光を主成分とする状態(所定の偏光状態)となる。

[0017] この場合、その第1物体に照射されるその照明光を、実質的にその特定輪帯領域内に分布する光束に制限する光束制限部材(9a, 9b)を有してもよい。また、その光束制限部材は、その光束を更にその特定輪帯領域内の実質的に離散的な複数の領域内に制限してもよい。これらの場合、照明光量を殆ど低下させることなく、輪帯照明、2極照明、又は4極照明等が実現できる。

[0018] また、その光束制限部材は、一例としてその光源(1)とその複数の複屈折部材(12

、13)との間に配置される回折光学素子を含むものである。回折光学素子を用いることによって、光量損失を更に減少できる。

また、一例として、その複数の複屈折部材のうち少なくとも1つの部材は、透過光のうち進相軸に平行な直線偏光成分と遅相軸に平行な直線偏光成分との間に与える位相差である偏光間位相差が、その部材の位置に対して非線形に変化する不均一波長板(12, 13)である。これによって、その複数の複屈折部材を通過した後の照明光の偏光状態を高精度に所定の状態に制御できる。

[0019] この場合、その不均一波長板は、その特定照明光又はその特定輪帯領域に分布する照明光に対して、その照明光学系の光軸を中心として2回回転対称性を有する偏光間位相差を与える第1の不均一波長板(12)を含んでもよい。

また、その不均一波長板は、その特定照明光又はその特定輪帯領域に分布する照明光に対して、その照明光学系の光軸を中心として1回回転対称性を有する偏光間位相差を与える第2の不均一波長板(13)を更に含んでもよい。

[0020] また、一例として、その第1及び第2の不均一波長板は、その進相軸の方向が、その照明光学系の光軸を回転中心として、相互に45°ずれたものである。これによって、2つの不均一波長板を通過した後の照明光の偏光状態の制御が容易になる。

また、その複数の複屈折部材とその第1物体との間に配置されたオプティカルインテグレーター(14)を更に含んでもよい。これによって、第1物体上での照度分布の均一性が向上する。

[0021] また、その複数の複屈折部材とそのオプティカルインテグレーターとの間に配置されたズーム光学系、間隔可変の円錐プリズム群(41, 42)、又は多面体プリズム群を更に含むことができる。その第1物体上のパターンのピッチ等に応じてそのズーム光学系等を用いてその特定輪帯領域(又は輪帯状の領域若しくはその中の実質的に離散的な部分領域)の大きさや位置を制御することで、種々のピッチのパターンを露光する際の結像特性を向上できる。

[0022] また、そのオプティカルインテグレーターは、一例としてフライアイレンズである。

また、その光源とその複数の複屈折部材との間に配置されてその光源からのその照明光の偏光状態を変換する偏光制御機構(4)を有してもよい。これによって、その

光源からの照明光の偏光状態を光量損失の無い状態で、複数の複屈折部材に適した偏光状態に変換できる。

[0023] また、その複数の複屈折部材の一部又は全部を、その照明光学系の光軸を中心として回転可能ならしめる回転機構を有してもよい。これによって、その光源からの照明光を、その複屈折部材に適した偏光状態でその複屈折部材に供給できる。

また、その複数の複屈折部材を複数組備え、その複数組のその複数の複屈折部材を、その照明光学系内に交換可能に配置する複屈折部材交換機構を有することができる。これで転写対象の種々のパターンに対応できる。

[0024] 次に、本発明による第3の投影露光装置は、光源(1)からの照明光を第1物体(R)に照射する照明光学系(1LS)と、その第1物体上のパターンの像を第2物体(W)上に投影する投影光学系(25)とを有する投影露光装置であって、その光源は、その照明光を実質的に単一の偏光状態で生成し、その照明光学系は、その照明光の進行方向に沿って順に配置される、回折光学素子(9a, 9b)と複屈折部材(12, 13)とを有するものである。

また、本発明による第2の照明光学装置は、光源からの照明光を第1物体に照射する照明光学装置であって、その照明光の進行方向に沿って順に配置される、回折光学素子と複屈折部材とを有するものである。

[0025] 本発明によれば、その複屈折部材を用いることによって、その第1物体を例えばS偏光を主成分とする所定の偏光状態で効率的に照明できる。更に、その回折光学素子を用いてその複屈折部材に入射する照明光の光量分布を輪帯状等に制限することによって、光量損失を極めて小さくできる。

本発明において、一例として、その回折光学素子は、その第1物体に照射されるその照明光を、特定の入射角度範囲でその第1物体に照射される特定照明光に実質的に制限するとともに、その複屈折部材は、その特定照明光をS偏光を主成分とする偏光状態の光とする。

[0026] また、その回折光学素子は、更にその第1物体に照射されるその照明光の入射方向を特定の実質的に離散的な複数の方向に制限してもよい。

また、その回折光学素子は、その照明光を、その照明光学系中の瞳面内の、その

照明光学系の光軸を中心とする所定の輪帯領域である特定輪帯領域内に分布する光束に実質的に制限するとともに、その複屈折部材は、その光束を、円周方向を偏向方向とする直線偏光を主成分とする偏光状態としてもよい。

また、その回折光学素子は、その光束を更にその特定輪帯領域内の実質的に離散的な複数の領域内に制限してもよい。

[0027] 次に、本発明による露光方法は、本発明の投影露光装置を用いて、その第1物体としてのマスク(R)のパターンの像でその第2物体としての感光体(W)を露光するものである。本発明によって、その第1物体を輪帯照明、2極照明、又は4極照明等で照明できるとともに、その第1物体に入射する照明光の偏光状態をほぼS偏光を主成分にすることができる。従って、光量損失の殆ど無い状態で、マスク上に所定方向に微細ピッチで形成されたパターンを良好な結像特性で転写できる。

また、本発明によるデバイス製造方法は、リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、そのリソグラフィ工程で本発明の露光方法を用いてパターンを感光体に転写するものである。本発明によれば、高い処理能力で、かつ高い結像特性でパターンを転写することができる。

[0028] 本発明によれば、複数の複屈折部材を用いて照明光の偏光状態を制御するか、又は照明光の進行方向に沿って順に配置される回折光学素子と複屈折部材とを用いて照明光の偏光状態を制御しているため、第1物体(マスク)を所定の偏光状態の照明光で照明する際の光量損失を少なくできる。

また、更に光束制限部材を用いることによって、第1物体を輪帯照明、2極照明、又は4極照明等で照明する際に、照明光量を殆ど低下させることなく、特定輪帯領域の少なくとも一部の領域を通過する照明光の偏光状態を、その特定輪帯領域の円周方向に平行な直線偏光を主成分とする状態に設定することができる。

[0029] この場合、その第1物体上のその直線偏光の方向に沿って長手方向を有するラインパターンを微細ピッチで配置したパターンを露光する際の結像特性が向上する。従って、結像特性の向上を、処理能力(スループット)の低下なく実現できる照明光学装置、投影露光装置、及び露光方法を提供できる。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]図1は、本発明の実施形態の一例の投影露光装置の概略構成を示す一部を切り欠いた図である。

[図2]図2(A)は図1中の複屈折部材12を+Y方向に見た図、図2(B)は図2(A)のAA'線に沿う断面図である。

[図3]図3(A)は図1中の複屈折部材13を+Y方向に見た図、図3(B)は図3(A)のBB'線に沿う断面図である。

[図4]図4(A)は第1の複屈折部材12における偏光間位相差 $\Delta P1$ と位置Xとの関係の一例を示す図、図4(B)は第2の複屈折部材13における偏光間位相差 $\Delta P2$ と位置XZとの関係の一例を示す図、図4(C)は第2の複屈折部材13から射出される照明光の偏光状態の一例を示す図である。

[図5]図5は、第1の複屈折部材12から射出される照明光の偏光状態の一例を示す図である。

[図6]図6(A)は第1の複屈折部材12における偏光間位相差 $\Delta P1$ と位置Xとの関係の他の例を示す図、図6(B)は第2の複屈折部材13における偏光間位相差 $\Delta P2$ と位置XZとの関係の他の例を示す図、図6(C)は第2の複屈折部材13から射出される照明光の偏光状態の他の例を示す図である。

[図7]図7(A)は図1のレチクルR上に形成された微細な周期パターンPXの一例を示す平面図、図7(B)は図7(A)のパターンを所定条件で照明した場合に投影光学系の瞳面26内に形成される回折光の分布を示す図、図7(C)は図7(A)のパターンPXを照明するための輪帯照明の条件を示す図である。

[図8]図8(A)は図1の照明光学系ILSの瞳面15とレチクルRとの関係を簡易的に示す斜視図、図8(B)は図8(A)の一部を+Y方向に見た図、図8(C)は図8(A)の一部を-X方向に見た図である。

[図9]図9は、本発明の実施形態の一例において、特定輪帯領域の半径を可変とするために、図1の複屈折部材12, 13とフライアイレンズ14との間に配置できる複数の円錐プリズムを示す図である。

[図10]図10は、図1の偏光制御部材4の位置に配置できる偏光制御光学系の一例を示す図である。

[図11]図11は、本発明の実施形態の投影露光装置を用いて半導体デバイスを製造するためのリソグラフィ工程の一例を示す図である。

符号の説明

[0031] R…レチクル、W…ウエハ、ILS…照明光学系、AX2…照明系光軸、nf…進相軸、ns…遅相軸、1…露光光源、4…偏光制御部材、9a, 9b…回折光学素子、12…第1の複屈折部材、13…第2の複屈折部材、14…フライアイレンズ、25…投影光学系、36…特定輪帯領域、41, 42…円錐プリズム

発明を実施するための最良の形態

[0032] 以下、本発明の好ましい実施形態の一例につき図面を参照して説明する。本例は、ステップ・アンド・スキャン方式よりなる走査露光型の投影露光装置(スキャニング・ステッパー)で露光を行う場合に本発明を適用したものである。

図1は、本例の投影露光装置の概略構成を示す一部を切り欠いた図であり、この図1において、本例の投影露光装置は、照明光学系ILSと投影光学系25とを備えている。前者の照明光学系ILSは、露光光源1(光源)からコンデンサーレンズ20までの光軸(照明系光軸)AX1, AX2, AX3に沿って配置される複数の光学部材を備え(詳細後述)、露光光源1からの露光ビームとしての露光用の照明光(露光光)ILでマスクとしてのレチクルRのパターン面(レチクル面)の照明視野を均一な照度分布で照明する。後者の投影光学系25は、その照明光のもとで、レチクルRの照明視野内のパターンを投影倍率M(Mは例えば1/4, 1/5等の縮小倍率)で縮小した像を、被露光基板(基板)又は感光体としてのフォトリソグが塗布されたウエハW上の一つのショット領域上の露光領域に投影する。レチクルR及びウエハWはそれぞれ第1物体及び第2物体ともみなすことができる。ウエハWは、例えば半導体(シリコン等)又はSOI(silicon on insulator)等の直径が200〜300mm程度の円板状の基板である。本例の投影光学系25は、例えば屈折光学系であるが、反射屈折系なども使用できる。

[0033] 以下、図1において、投影光学系25、レチクルR、及びウエハWに関しては、投影光学系25の光軸AX4に平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面(XY平面)内で走査露光時のレチクルR及びウエハWの走査方向(図1の紙面に平行な方向)に沿ってY軸を取り、非走査方向(図1の紙面に垂直な方向)に沿ってX軸を取って説明する。こ

の場合、レチクルRの照明視野は、非走査方向であるX方向に細長い領域であり、ウェハW上の露光領域は、その照明視野と共役な細長い領域である。また、投影光学系25の光軸AX4は、レチクルR上で照明系光軸AX3と合致している。

[0034] まず、露光転写すべきパターンの形成されたレチクルRはレチクルステージ21上に吸着保持され、レチクルステージ21はレチクルベース22上でY方向に一定速度で移動するとともに、同期誤差を補正するようにX方向、Y方向、Z軸の回りの回転方向に微動して、レチクルRの走査を行う。レチクルステージ21のX方向、Y方向の位置、及び回転角は、この上に設けられた移動鏡23及びレーザ干渉計24によって計測されている。この計測値及び主制御系34からの制御情報に基づいて、レチクルステージ駆動系32はリニアモータ等の駆動機構(不図示)を介してレチクルステージ21の位置及び速度を制御する。レチクルRの周辺部の上方には、レチクルアライメント用のレチクルアライメント顕微鏡(不図示)が配置されている。

[0035] 一方、ウェハWは、ウェハホルダ(不図示)を介してウェハステージ27上に吸着保持され、ウェハステージ27は、ウェハベース30上にY方向に一定速度で移動できるとともに、X方向、Y方向にステップ移動できるように載置されている。また、ウェハステージ27には、不図示のオートフォーカスセンサの計測値に基づいて、ウェハWの表面を投影光学系25の像面に合わせ込むためのZレベリング機構も組み込まれている。ウェハステージ27のX方向、Y方向の位置、及び回転角は、この上に設けられた移動鏡28及びレーザ干渉計29によって計測されている。この計測値及び主制御系34からの制御情報に基づいて、ウェハステージ駆動系33はリニアモータ等の駆動機構(不図示)を介してウェハステージ27の位置及び速度を制御する。また、投影光学系25の近傍には、ウェハアライメントのために、ウェハW上の位置合わせ用マークの位置を検出するオフ・アクシス方式で例えばFIA(Field Image Alignment)方式のアライメントセンサ31が配置されている。

[0036] 本例の投影露光装置による露光に先立って、上記のレチクルアライメント顕微鏡によってレチクルRのアライメントが行われ、ウェハW上に以前の露光工程で回路パターンとともに形成された位置合わせ用マークの位置をアライメントセンサ31で検出することによって、ウェハWのアライメントが行われる。その後、レチクルR上の照明視野

に照明光ILを照射した状態で、レチクルステージ21及びウエハステージ27を駆動して、レチクルRとウエハW上の一つのショット領域とをY方向に同期走査する動作と、照明光ILの発光を停止して、ウエハステージ27を駆動してウエハWをX方向、Y方向にステップ移動する動作とが繰り返される。その同期走査時のレチクルステージ21とウエハステージ27との走査速度の比は、投影光学系25を介してのレチクルRとウエハWとの結像関係を保つために、投影光学系25の投影倍率Mと等しい。これらの動作によって、ステップ・アンド・スキャン方式でウエハW上の全部のショット領域にレチクルRのパターン像が露光転写される。

[0037] 次に、本例の照明光学系ILSの構成につき詳細に説明する。図1において、本例の露光光源1としては、ArF(アルゴンフッ素)エキシマーレーザー(波長193nm)が使用されている。なお、露光光源1としては、その他にKrF(クリプトンフッ素)エキシマーレーザー(波長248nm)、 F_2 (フッ素分子)レーザー(波長157nm)、又は Kr_2 (クリプトン分子)レーザー(波長146nm)等のレーザー光源なども使用できる。これらのレーザー光源(露光光源1を含む)は、狭帯化されたレーザー又は波長選択されたレーザーであり、露光光源1から射出される照明光ILは、上記狭帯化又は波長選択により直線偏光を主成分とする偏光状態となっている。以下、図1において、露光光源1から射出された直後の照明光ILは、偏光方向(電場の方向)が図1中のX方向と一致する直線偏光光を主成分とするものとして説明する。

[0038] 露光光源1を発した照明光ILは、照明系光軸AX1に沿ってリレーレンズ2, 3を介して偏光制御機構としての偏光制御部材4(詳細後述)に入射する。偏光制御部材4を発した照明光ILは、凹レンズ5と凸レンズ6との組み合わせからなるズーム光学系(5, 6)を経て、光路折り曲げ用のミラー7で反射されて、照明系光軸AX2に沿って回折光学素子(DOE: Diffractive Optical Element) 9aに入射する。回折光学素子9aは位相型の回折格子からなり、入射した照明光ILは、所定の方向に回折されて進む。

[0039] 後述する通り、光束制限部材としての回折光学素子9aからの各回折光の回折角及び方向は、照明光学系ILSの瞳面15上での照明光ILの位置や、照明光ILのレチクルRへの入射角度及び方向に対応する。また、回折光学素子9a及びそれと異なる回折作用を有する別の回折光学素子9b等がターゲット状の部材8上に複数配列されて

いる。そして、例えば主制御系34の制御のもとで交換機構10により部材8を駆動して、部材8上の任意の位置の回折光学素子9a等を照明系光軸AX2上の位置に装填することで、レチクルRのパターンに応じて、レチクルRへの照明光の入射角度範囲及び方向(又は瞳面15での照明光の位置)を、所望の範囲に設定できるように構成されている。また、その入射角度範囲は、上述のズーム光学系(5, 6)を構成する凹レンズ5及び凸レンズ6を、照明系光軸AX1の方向にそれぞれ移動することによって、補助的に微調整することができる。

[0040] 回折光学素子9aを射出した照明光(回折光)ILは、照明系光軸AX2に沿ってリレーレンズ11を経て、本発明の複数の複屈折部材としての第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13に順次入射する。これらの複屈折部材の詳細については後述する。本実施形態においては、複屈折部材13の後に、オプティカルインテグレーター(照度均一化部材)であるフライアイレンズ14が配置されている。フライアイレンズ14を射出した照明光ILは、リレーレンズ16、視野絞り17、及びコンデンサーレンズ18を経て光路折り曲げ用のミラー19に至り、ここで反射された照明光ILは、照明系光軸AX3に沿ってコンデンサーレンズ20を経てレチクルRを照明する。このように照明されたレチクルR上のパターンは、上述のように投影光学系25によりウエハW上に投影され転写される。

[0041] なお、必要に応じて視野絞り17を走査型とし、レチクルステージ21及びウエハステージ27の走査に同期して、走査することもできる。この場合、その視野絞りを固定視野絞りと可動視野絞りとに分けて構成してもよい。

この構成において、フライアイレンズ14の射出側の面は照明光学系ILSの瞳面15の近傍に位置している。瞳面15は、瞳面15からレチクルRに至るまでの照明光学系ILS中の光学部材(リレーレンズ16、視野絞り17、コンデンサーレンズ18, 20、及びミラー19)を介して、レチクルRのパターン面(レチクル面)に対する光学的フーリエ変換面として作用する。即ち、瞳面15上の1点を射出した照明光は、概ね平行光束となって所定の入射角度及び入射方向でレチクルRを照射する。その入射角度及び入射方向は、その光束の瞳面15上での位置に応じて定まる。

[0042] なお、光路折り曲げ用のミラー7, 19は、光学性能的に必須のものではないが、照

明光学系ILSを一直線上に配置すると露光装置の全高(Z方向の高さ)が増大するために、省スペース化を目的として照明光学系ILS内の適所に配置したものである。照明系光軸AX1は、ミラー7の反射により照明系光軸AX2と一致し、更に照明系光軸AX2は、ミラー19の反射により照明系光軸AX3と一致する。

[0043] 以下、図2ー図5を参照して、図1中の第1及び第2の複屈折部材12, 13の第1実施例につき説明する。

第1の複屈折部材12は、一軸結晶等の複屈折材料からなる円板状の部材であり、その光学軸はその面内方向(照明系光軸AX2に垂直な平面に平行な方向)にある。そして、その第1の複屈折部材12のその面内方向の大きさ(直径)は、当該複屈折部材12が配置される位置における照明光ILの光束径より大きい。

図2(A)は、図1の複屈折部材12を照明系光軸AX2に沿って+Y方向に見た図であり、図2(A)に示す通り、複屈折部材12において、これに平行な偏光方向を持つ直線偏光光に対して屈折率を最低にする軸方向である進相軸 n_f が、図1と同じ座標軸であるXZ座標で各座標軸(X軸及びZ軸)から45° 回転した方向を向いている。また、これに平行な偏光方向を持つ直線偏光光に対して屈折率を最高にする軸方向である遅相軸 n_s は、当然ながら上記進相軸 n_f と直交し、やはりX軸及びZ軸の双方から45° 回転した方向を向いている。

[0044] 第1の複屈折部材12の厚さは図2(A)の紙面に平行な面内で一様ではなく、X座標(X方向の位置)に応じて変化する。図2(B)は図2(A)のAA'線に沿う複屈折部材12の断面図であり、図2(B)に示すように、複屈折部材12は、X方向において中心(照明系光軸)で薄く周辺で厚い形状である。一方、第1の複屈折部材12の厚さは、図2(A)のZ方向には一様であり、複屈折部材12は、全体として負のシリンダーレンズのような形状をしている。

[0045] このような複屈折部材を透過した光束には、一般的には、その偏光方向(即ち「光の電場の振動方向」であり、以下同じ。)が進相軸 n_f の方向に一致する直線偏光成分と、遅相軸 n_s の方向に一致する直線偏光成分との間に光路差(偏光間位相差)が生じる。進相軸 n_f に平行な直線偏光光に対しては複屈折部材の屈折率が低く、従って同偏光光の進行速度は速く、一方、遅相軸 n_s に平行な直線偏光光に対しては複

屈折部材の屈折率が高く、従って同偏光光の進行速度は遅くなるため、両偏光光間に光路差(偏光間位相差)が生じるのである。従って、第1の複屈折部材12は透過光に与える偏光間位相差が、場所に応じて異なる第1の不均一波長板として機能する。

[0046] ところで、第1の複屈折部材12の厚さを最適化することで、複屈折部材12によって生じる上記光路差を波長の整数倍とすると、両光束の位相は実質的に区別できず、実質的に光路差がない状態を形成できる。本例では、複屈折部材12の中心部の厚さT1をそのような厚さに設定する。以下では、図2(B)に示すように、X軸の原点(X=0)を複屈折部材12の中心(照明系光軸)とする。

[0047] 一方、第1の複屈折部材12の中心に対してX方向に±1離れた位置(1は基準長であって、第1の複屈折部材12の外径より内側にある)では、偏光間位相差が0.5(単位は照明光の波長)だけ生じるように、その複屈折部材12の形状を設定する。そのような形状として、本例では複屈折部材12の厚さTAを、X方向の位置Xについて、次の関数で表わされる厚さとしている。

[0048]
$$TA = T1 + \alpha \times (1.7 \times X^4 - 0.7 \times X^2) \quad (1)$$

ここで、 α は比例係数であり、 α の値は中心部の厚さT1と同様、使用する複屈折材料の上述の進相軸と遅相軸との屈折率差等により異なる。

第1の複屈折部材12を構成する複屈折材料として一軸結晶である水晶を使用するなら、水晶の屈折率は、波長193nmのArFエキシマーレーザー光において常光線の屈折率は1.6638、異常光線の屈折率は1.6774である。これより進相軸は常光線の偏光方向であり、遅相軸は異常光線の偏光方向となる。

[0049] 水晶中での常光線、異常光線の波長は、真空中の波長(193nm)をそれぞれの屈折率で割ったものであるから、それぞれ116.001nm, 115.056nmであり、水晶中を1波長分進行する毎に、両光束間に0.945nmの光路差が形成される。従って、122.7(=116.001/0.945)波長分進行すると、両光束間には約1波長分の光路差が形成される。もっとも光路差がちょうど1波長分又は整数波長分であると、両光束間には実質的に光路差が無いのと等価である。122.7波長分の水晶の厚さは、 $122.7 \times 193 / 1.6638$ の計算より14239nm、即ち14.239 μ mに相当する。同様に、

常光線と異常光線とに半波長の光路差を形成するには、水晶の厚さを上記の半分の $7.12\mu\text{m}$ にすれば良いことになる。

- [0050] これより、第1の不均一波長板である第1の複屈折部材12を水晶で形成するには、上記(1)式における中心部の厚さ $T1$ を $14.239\mu\text{m}$ の整数倍に設定し、周辺近傍の基準位置($X=1$)での厚さを、それより $7.12\mu\text{m}$ 厚くすれば良く、即ち上記比例係数 α を $7.12\mu\text{m}$ と設定すれば良い。

このとき、第1の複屈折部材12により形成される偏光間位相差 $\Delta P1$ は、 X 方向の位置 X の関数として次のように表わされる。

[0051]
$$\Delta P1 = 0.5 \times (1.7 \times X^4 - 0.7 \times X^2) \quad (2)$$

なお、第1の複屈折部材12の厚さとは、その入射面12aと射出面12bとの間隔であり、上記位相差を形成するための上記厚さと X 方向の位置との関係を満たすのであれば、入射面12aと射出面12bとの各形状は任意であっても構わない。ただし、面形状の加工上は、どちらかの面を平面とした方が加工が容易になるので、実際には図2(B)に示した如く、例えば射出面12bを平面とすることが望ましい。この場合には射出面12bでの厚さ TA の値を0とした際の入射面12aの厚さ TA の値は、(1)式で求まる TA の通りとなる。勿論、入射面12aを平面としても良い。

- [0052] 図4(A)は、(2)式で表わされる偏光間位相差 $\Delta P1$ (単位は照明光の波長)と位置 X との関係を示す図である。また、図5は、本例の第1の複屈折部材12から射出される照明光の偏光状態を表わす図であり、図5において、 XZ 座標上の各位置に分布する照明光の偏光状態が、各位置を中心とする線分、円、又は楕円にて示されている。また、図5の X 軸及び Z 軸の原点($X=0$, $Z=0$)は、複屈折部材12の中心に設定されており、 X 方向及び Z 方向のスケールは、 $X=\pm 1$, $Z=\pm 1$ の位置(共に原点 $X=0$, $Z=0$ から基準長離れた位置)が図5中の四隅に位置するように設定されている。

- [0053] 図5の各 XZ 座標で識別される位置において、線分が表示された位置では照明光は直線偏光を主成分とする偏光状態となっており、線分の方がその偏光方向を示す。また、楕円が表示された位置では照明光は楕円偏光を主成分とする偏光状態となっており、楕円の長辺方向は、その楕円偏光に含まれる直線偏光成分が最大とな

る方向を示している。また、円が表示された位置では照明光は円偏光を主成分とする偏光状態となっている。

[0054] 図4(A)に示した通り、中心からX方向に ± 1 離れた位置では、第1の複屈折部材12は、所謂 $1/2$ 波長板として作用する。ここで、図1の露光光源1を発する照明光ILは、前述の通りX方向に偏光した直線偏光光を主成分としており、この $1/2$ 波長板は、その進相軸 n_f 及び遅相軸 n_s が、入射光の(照明光の)偏光方向であるX方向に対して 45° 回転したものである。従って、図5に示した通り、第1の複屈折部材12のうち中心からX方向に ± 1 (基準長)離れた位置付近を透過する照明光の偏光状態は、この $1/2$ 波長板の作用により、Z方向の直線偏光を主成分とする偏光状態に変換される。

[0055] また、図4(A)より、第1の複屈折部材12のうち中心からX方向に ± 0.6 離れた位置付近を透過する照明光に対しては、偏光間位相差 $\Delta 1$ は 0.25 であり、第1の複屈折部材12は所謂 $1/4$ 波長板として作用する。このため、この部分を透過する照明光は、円偏光を主成分とする偏光状態に変換されることになる。

一方、X方向についての中心を透過する光束には、進相軸 n_f 方向及び遅相軸 n_s 方向の各直線偏光間で光路差が生じないため、透過光の偏光状態が変換されることは無い。従って、X方向についての中心で複屈折部材12に入射する光束は、X方向の直線偏光状態を主成分とする状態を保ったまま複屈折部材12を射出する。そして、上記の $X=0, \pm 0.6, \pm 1$ の各位置以外の位置を透過する光束は、位置に応じて形状の異なる楕円偏光を主成分とする偏光状態となって、第1の複屈折部材12を透過する。この偏光状態は図5に示した通りである。

[0056] 図1において、第1の複屈折部材12を透過した場所に応じて偏光状態の異なる照明光ILは、第2の複屈折部材13に入射する。第2の複屈折部材13も複屈折材料からなる円板状の部材である。

図3(A)は、図1の第2の複屈折部材13を照明系光軸AX2に沿って+Y方向に見た図であり、上述の第1の複屈折部材12と異なり、図3(A)に示す通り、第2の複屈折部材13の進相軸 n_f は図1と同じ座標軸であるXZ座標のZ軸と平行に設定され、遅相軸 n_s はX軸と平行に設定される。第2の複屈折部材13についても、その面内方向の

大きさ(直径)は、当該第2の複屈折部材13が配置される位置における照明光ILの光束径より大きい。

[0057] また、第2の複屈折部材13もその厚さは一様ではなく、その厚さは、図3(A)中のXZ座標系の関数 $Z=X$ の方向、即ち図3(A)中のBB'線の方角(以下、これを「XZ方角」と呼ぶ。)の位置に応じて変化する。図3(B)は、図3(A)のBB'線に沿った第2の複屈折部材13の断面図であり、図3(B)に示すように、複屈折部材13は左端部(Bの近傍)で薄く右端部(B'の近傍)で厚い形状である。一方、第2の複屈折部材13の厚さはXZ方角に直交する方角には一様である。従って、第2の複屈折部材13も透過光に与える偏光間位相差が、場所に応じて異なる第2の不均一波長板として機能する。

[0058] 本例では第2の複屈折部材13の厚さTBを、XZ方角の位置XZについて、次の関数で表わされるものとしている。なお、図3(B)に示すように、XZ方角の原点($XZ=0$)を複屈折部材13の中心(照明系光軸)として、その中心での厚さをT2としている。

$$TB = T2 + \beta \times (2.5 \times XZ^5 - 1.5 \times XZ^3) \quad (3)$$

ここで、 β は比例係数であり、中心部の厚さT2と同様、 β の値は使用する複屈折材料の上述の進相軸と遅相軸との屈折率差等により異なる。ここで、中心部の厚さT2は、第2の複屈折部材13の偏光間位相差 $\Delta P2$ が0.25(単位は照明光の波長)となるように、即ち中心部が1/4波長板として機能するように設定する。

[0059] また、複屈折部材13において、XZ方角に+1(基準長さ)及び-1離れた位置では、偏光間位相差 $\Delta P2$ が、それぞれ+0.75及び-0.25となるように設定する。これは、中心との間に、それぞれ+0.5及び-0.5の偏光間位相差の差を形成することを意味する。

即ち、本例の第2の複屈折部材13においては、偏光間位相差 $\Delta P2$ が次式で表わされるようにその厚さを設定する。

$$\Delta P2 = 0.25 + 0.5 \times (2.5 \times XZ^5 - 1.5 \times XZ^3) \quad (4)$$

また、第2の複屈折部材13についても上述の例と同様に水晶で形成する場合には、中心部の厚さT2は $14.239 \mu\text{m}$ の(整数+1/4)倍とし、比例係数 β を $7.12 \mu\text{m}$ とすれば良い。図4(B)は、(4)式の偏光間位相差 $\Delta P2$ と位置XZとの関係を示す図

である。

[0061] 図1において、第1の複屈折部材12を透過した場所に応じて偏光状態の異なる照明光は、第2の複屈折部材13により、再度、その偏光状態が場所に応じて変換される。第2の複屈折部材13を射出した照明光ILの偏光状態を図4(C)に示す。

図4(C)の表示方法は、前述の図5での表示方法と同様であり、図4(C)において、XZ座標上の各位置に分布する照明光の偏光状態が、各位置を中心とする線分(直線偏光)、又は楕円(楕円偏光)にて示されている。また、図4(C)のX軸及びZ軸の原点($X=0$, $Z=0$)も、複屈折部材13の中心に設定されている。

[0062] なお、図1に示す通り、本実施形態では、第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13がフライアイレンズ14の直前に配置されており、かつフライアイレンズ14の射出側の面は、照明光学系ILS中の瞳面15の近傍に配置されている。そのため、第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13は、実質的に照明光学系ILS中の瞳面15とほぼ等価な場所に配置されている。

[0063] 従って、第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13を透過した照明光ILは、その位置に応じて決まる入射角度及び入射方向で、レチクルRに入射することになる。即ち、図4(C)中で原点($X=0$, $Z=0$ の位置)上に分布する光束はレチクルRに垂直に入射し、原点から所定距離離れた位置に分布する光束は、この距離にほぼ比例する入射角度でレチクルRに傾いて入射する。また、その入射方向は、その点の原点からの方位角に等しい方向となる。

[0064] 図4(C)及び図5に示した外円C1及び内円C2は、レチクルRに対して所定の輪帯照明を構成するための照明光の分布の境界である。各円C1, C2の半径は、上記第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13の厚さ形状(厚さ分布)の決定で使した基準長さを単位として、外円C1の半径を1.15、内円C2の半径を0.85としてある。即ち、輪帯照明の輪帯比(内円の半径/外円の半径)としては、0.74を想定している。これは一般的に使用される所謂「3/4輪帯照明(内半径:外半径=3:4)」を想定したものであるが、当然ながら本発明が適用されるべき輪帯照明の条件は、これに限られるものではない。

[0065] 図4(C)より明らかな通り、第2の複屈折部材13を射出した照明光は、外円C1及び

内円C2に囲まれた輪帯領域である特定輪帯領域36内において、その特定輪帯領域36の円周方向を偏光方向とする直線偏光を主成分とする偏光状態となっている。

図4(C)及び図5を比較すると、X軸上及びZ軸上の照明光の偏光状態はほぼ等しい。しかし、原点を中心に各軸から45°程度離れた位置(図4(C)及び図5中で、右上、左上、左下、右下の位置)での偏光状態は、図5では概ね円偏光であるのに対し、図4(C)では特定輪帯領域の円周方向の直線偏光に変換されている。これは、第2の複屈折部材13の作用によるものであり、第2の複屈折部材13が、図4(C)中の左上及び右下の領域では1/4波長板として機能し、左下及び右上の領域ではそれぞれ1/4波長板及びそれと等価な3/4波長板として機能することによっている。

[0066] なお、実際の露光装置では、その特定輪帯領域36の外円C1の実際の半径は、図1の投影光学系25のレチクルR側の開口数(NA)、照明光学系ILS中のリレーレンズ16及びコンデンサーレンズ18, 20よりなる光学系の焦点距離、並びに設定すべきコヒーレンスファクター(照明 σ)の値より決まり、内円C2の半径は更に設定すべき輪帯比により決まる値である。そして、この輪帯照明の条件に対して、その特定輪帯領域36に分布する照明光の偏光方向が、各位置における輪帯領域の円周方向と一致するように、第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13の厚さ形状を決定することになることは言うまでもない。

[0067] ここで、第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13の厚さ形状を決定するとは、その形状をXZ面内において比例拡大又は比例縮小し、Y方向(光の進行方向)についてはその凹凸量を変化させないことを意味する。

以上、第1及び第2の複屈折部材12, 13の第1実施例においては、光束を減光させることのない第1及び第2の不均一波長板により、照明光束の光量損失が無い状態で、特定輪帯領域に分布する照明光の偏光方向を、各位置における輪帯領域の円周方向と一致させることができる。この場合には、その照明光のうち、その特定輪帯領域36を通過してレチクルRに照射される照明光、即ち特定の入射角度範囲でレチクルRに照射される特定照明光は、偏光方向が入射面に対して垂直な方向のS偏光を主成分とする偏光状態の光となる。これによって、転写対象のパターンの周期性等によって、転写像のコントラスト、解像度、及び焦点深度等が向上する場合がある(

詳細後述)。

[0068] 次に、図6を参照して、図1の照明光学系ILS中の第1及び第2の複屈折部材12, 13の第2実施例につき説明する。

本例においても、第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13の構成は、基本的には上述の第1実施例で示したものと同様である。即ち、第1の複屈折部材12は、図2(A)、及び図2(B)に示した如きの進相軸方向及び厚さ形状を有し、第2の複屈折部材13は、図3(A)、及び図3(B)に示した如きの進相軸方向及び厚さ形状を有する。ただし、本例においては両複屈折部材12, 13の厚さに関する関数の形式を変更する。

[0069] 図6(A)は、図4(A)に対応させて、この第2実施例において第1の複屈折部材12が形成する偏光間位相差 $\Delta P1$ のX方向の位置に対する特性を示す。図6(A)の偏光間位相差 $\Delta P1$ は、次のような位置Xに関する三角関数を含む関数である。

$$\Delta P1 = 0.265 \times \{1 - \cos(\pi \times X^2)\} \quad (5)$$

このような偏光間位相差 $\Delta P1$ は、第1の複屈折部材12の厚さTAを、X方向の位置Xについて次の関数で表わすことで実現できる。

$$TA = T1 + \gamma \times \{1 - \cos(\pi \times X^2)\} \quad (6)$$

ここで、 γ は比例係数である。第1実施例と同様に、第1の複屈折部材12を水晶で形成する場合、中心の厚さT1を $14.239 \mu\text{m}$ の整数倍に設定し、比例係数 γ を $3.77 \mu\text{m}$ と設定すれば良い。 $3.77 \mu\text{m}$ とは、1波長分の偏光間位相差を与える水晶の厚さ $14.239 \mu\text{m}$ を、上記(5)式の係数倍である0.265倍した値である。

[0071] 図6(B)は、本第2実施例における第2の複屈折部材13が形成する偏光間位相差 $\Delta P2$ のXZ方向の位置に対する特性を示す。図6(B)の偏光間位相差 $\Delta P2$ は、次のような位置XZに関する三角関数を含む関数で表わすことができる。

$$\Delta P2 = 0.25 + 0.5 \times \sin(0.5 \times \pi \times XZ^3) \quad (7)$$

このような偏光間位相差 $\Delta P2$ は、第2の複屈折部材13の厚さTBを、XZ方向の位置XZについて次の関数で表わすことで実現できる。

$$TB = T2 + \delta \times \sin(0.5 \times \pi \times XZ^3) \quad (8)$$

ここで、 δ は比例係数である。第2の複屈折部材13を水晶とするなら、中心の厚さT

2を14. 239 μm の(整数+1/4)倍に設定し、比例係数 δ を7. 12 μm と設定すれば良い。

本例においても、第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13は、透過光に与える偏光間位相差が、それぞれ場所に応じて異なる第1及び第2の不均一波長板として機能する。そして、第1の複屈折部材12に入射するX方向に偏光した直線偏光光を、図6(C)に示す偏光分布に変換して、第2の複屈折部材13から射出する。

[0073] 図6(C)と図4(C)とを比較して分かる通り、本第2実施例の第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13の方が、上記第1実施例で示したものよりも、外円C1及び内円C2で囲まれた特定輪帯領域36内に分布する照明光の偏光状態を、その円周方向に平行な直線偏光に、より近付けることができる。これは、本第2実施例の第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13は、三角関数という高次の関数で定まる厚さ形状(即ち面形状)を採用しているため、より高精度な偏光制御ができるためである。

[0074] しかし、第1実施例で示した第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13は、高々5次までの関数からなるものであるため、偏光制御特性ではやや劣るが、加工が容易であり製造コストが低廉に抑えられるという利点がある。

なお、第1、第2の複屈折部材12, 13の製造コストを更に抑えるためには、例えば第1の複屈折部材12の表面形状をシリンдриカル面(X方向についての断面が円形となる面)とし、第2の複屈折部材13の表面形状をテーパ面(傾斜した平面)としても良い。この場合の偏光制御特性は、第1の実施形態のものより劣化するが、投影露光装置の用途によっては十分効果を得られるものであり、上記の製造コストの低廉化を図りつつ、高性能な露光装置を実現できる。

[0075] このように第2の複屈折部材13の表面形状をテーパ面とすることは、第2の複屈折部材13を透過した光束の偏光間位相差が、第2の複屈折部材13の面内の位置に応じて線形(1次関数)で定まることを意味する。

ところで、図1の第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13の形状は、上記の第1及び第2実施例に示した形状に限定されるものではなく、その透過光の上記特定輪帯領域内での偏光状態を、その各部において、その円周方向に一致させることが出来る形状であれば、どのような形状であっても良い。

[0076] 例えば、第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13の形状は、上述の連続かつ微分連続である関数で表わされる形状では無く、所定の位置において段階的に形状が変化する階段状の形状であっても構わない。また、このような階段状の形状の形成には、機械的あるいは機械化学的な研磨方法に代えて、エッチングによる形成が適することとなる。

[0077] なお、このような偏光状態を実現するには、第1の複屈折部材12に入射する光束の偏光状態が直線偏光を主成分とする単一の偏光状態からなる照明光である場合には、第1の複屈折部材12は、照明系光軸AX2を中心として2回回転対称性を持つ偏光間位相差を与えるものであるものが好ましい。これは、上述の第1及び第2実施例に示した如き、X方向について偶関数の厚さを有し、Y方向については一定の厚さを有する不均一波長板を含むことは言うまでも無い。

[0078] また、第2の複屈折部材13は、照明系光軸AX2を中心として1回回転対称性を有する偏光間位相差を与える不均一波長板であることが望ましい。1回回転対称性とは、偏光間位相差の分布が、照明系光軸AX2にて直交する2本の軸のうちの1方の軸については概ね対称であり、他方の軸については概ね反対称であることを言う。反対称とは、一般的には座標軸の反転に対して絶対値は等しいが符号は反転する関数をいうが、ここでは、一般的な反対称関数に、定数オフセットを加えた関数も含むとする。これは上述の第1及び第2実施例に示した如き、XZ方向についてのオフセット付きの奇関数で決まる厚さを有し、それと直交する方向については一定の厚さを有する不均一波長板を含むことは言うまでも無い。

[0079] また、本実施形態においては、特に、上述の特定輪帯領域に分布する照明光を所定の偏光状態に設定することが重要であるので、第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13の形状についても、上記特定輪帯領域に対応しない箇所については、その形状が上記の条件を満たさなくとも特に問題がないことは言うまでもない。

なお、第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13の、枚数や進相軸方向についても、上述の第1、第2実施例に示したものに限定されるわけではない。即ち、3枚以上の複屈折部材を照明光の進行方向に沿って(照明系光軸AX2に沿って)直列に配列しても良く、その進相軸方向の光軸AX2を中心とする回転関係も45°に限ら

れるわけではない。また、3枚以上の複数の複屈折部材を照明光の進行方向に沿って直列に配置した場合に、上記の特定輪帯領域の少なくとも一部の領域で、そして望ましくはほぼその全周の領域で照明光の偏光状態を円周方向にほぼ平行な直線偏光とするためには、その複数の複屈折部材のうち少なくとも1つの複屈折部材の進相軸の方向が、他の複屈折部材の進相軸の方向と異なるものであればよい。

[0080] 同様に、複屈折部材12, 13等の材質も上述の水晶に限られるわけではなく、他の複屈折材料を使用してもよく、蛍石の真性複屈折 (Intrinsic Birefringence) を利用して形成することもできる。また、本来複屈折のない合成石英等の材料に応力を加える等して複屈折性を持たせたものを、複屈折部材12, 13等として使用することもできる。

更に、複屈折部材12, 13としては、複屈折性のない透過性基板上に、複屈折性を有する材料を貼り合わせたものを使用することもできる。この場合、上述の厚さとは、複屈折性を有する材料の厚さを指すことはいうまでもない。ここで貼り合わせとは、接着、圧着等の機械的な接合のみではなく、透過性基板上に複屈折性を有する薄膜を蒸着等の手段で成膜して形成する方法であっても構わない。上述のように、上記第1、第2実施例で示した第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13の厚さ形状等は、使用する材料の複屈折の大きさにより変わるものであるが、水晶以外の材料を使用する場合であっても、上述の形状決定方法が適用でき、その形状が定まることは言うまでもない。

[0081] ここで、上記のような輪帯照明であって、輪帯領域内に分布する照明光の偏光状態が、その輪帯領域の円周方向に一致した照明光の利点について、図7及び図8を参照して簡単に説明する。

図7(A)は、図1のレチクルR上に形成された微細な周期パターンPXの一例を表わす。周期パターンPXは、図1と同一のXYZ座標系におけるX方向に周期性を有するパターンであり、そのピッチPTは、図1の投影光学系25の投影倍率を考慮してウエハW上のスケールに換算した値として140nmとする。図7(B)は、このパターンを、波長193nmの照明光を用いて、コヒーレンスファクター(照明 σ)が0.9、輪帯比が0.74の輪帯照明で照明した場合に、ウエハ側の開口数(NA)が0.90の投影光学系25の瞳面26(図1参照)内に形成される回折光の分布を示す。

- [0082] 図7(C)は、そのパターンPXを照明するための輪帯照明の条件を表わす図であり、図1の照明光学系ILSの瞳面15中で、上記輪帯照明の条件を満たす輪帯領域ILOからの照明光がそのパターンPXを照明する。周期パターンPXからの図7(B)の0次回折光D0は、その全てが瞳面26内に分布し、投影光学系25を透過してウエハWに到達するが、1次回折光D1R及びD1Lは部分的にのみ、瞳面26及び投影光学系25を透過可能である。レチクルRのパターンPXの像は、0次回折光D0と1次回折光D1R, D1Lとの干渉縞としてウエハW上に形成されるが、干渉縞が形成されるのは、照明光学系ILSの瞳面15において同一位置から発せられた照明光から生成された0次回折光と1次回折光とのペアに限られる。
- [0083] 図7(B)中で瞳面26の左端部に位置する1次回折光D1Lは、0次回折光D0のうち右端部に位置する部分とペアになるものであり、それらの回折光は図7(C)中の輪帯領域ILO中の右端の部分領域ILRから照明された照明光である。一方、図7(B)中で瞳面26の右端部に位置する1次回折光D1Rは、0次回折光D0のうち左端部に位置する部分とペアになるものであり、それらの回折光は図7(C)中の輪帯領域ILO中の左端の部分領域ILLから照明された照明光である。
- [0084] 即ち、このようなX方向に微細なピッチを有するパターンPXの露光に際しては、照明光学系ILSの瞳面15上の輪帯領域ILOから発せられる照明光のうち、パターンPXの結像に寄与する光束は、部分領域ILR及び部分領域ILLに限られ、輪帯領域ILO内の他の領域から発せられる照明光は、パターンPXの結像には寄与しない照明光である。
- [0085] ところで、パターンPXのようにX方向に周期性を有し、Y方向に長手方向を有するパターンの露光に際しては、レチクルR上でY方向の偏光方向を有する直線偏光で照明すると、投影像のコントラストが向上することが、前述の非特許文献1(Thimothy A. Brunner, et al.: "High NA Lithographic imaging at Brewster's angle", SPIE Vo1.4691, pp.1-24(2002))等で報告されている。
- [0086] 従って、図7(C)の部分領域ILR及び部分領域ILL内に分布する照明光を、それぞれ図7(C)中のZ方向に平行なPR方向及びPL方向(図1中のミラー19の作用を考慮するとレチクルR上ではY方向に対応する)に偏光した直線偏光光とすると、パタ

ーンPXの投影像のコントラストの向上、ひいては解像度及び焦点深度の向上に効果的である。

[0087] 次に、レチクルパターンが図7(A)のパターンPXとは90° 回転した、Y方向に微細ピッチを有する周期パターンである場合には、図7(B)に示した回折光分布も90° 回転することになる。この結果、周期パターンの像形成に寄与する照明光が通過する部分領域も、図7(C)に示した部分領域ILR及び部分領域ILLを90° 回転した位置(即ち、図7(C)中の上端及び下端)に配置され、かつ好ましい偏光状態は偏光方向がX方向に一致する直線偏光となる。以上より、X方向に微細な周期性を有するパターンPXと、Y方向に微細な周期性を有するパターンPYとを共に含むレチクルRを露光する際には、図8に示すような偏光状態を有する照明光の使用が効果的である。

[0088] 図8(A)は、図1の照明光学系ILSの瞳面15とレチクルRとの関係を簡易的に示した斜視図であり、図1中のリレーレンズ16、コンデンサーレンズ18, 20等は省略している。上述の通り、図8(A)中の輪帯領域ILO内に分布する照明光は、X方向に周期性を有するパターンPXの結像性能向上のためには、そのX方向の端部ILL, ILRにおいてはY方向(図8(A)の紙面奥行き方向)の直線偏光であることが望ましく、Y方向に周期性を有するパターンPYの結像性能向上のためには、そのY方向の端部ILU, ILDにおいてはX方向の直線偏光であることが望ましい。即ち、その偏光方向が輪帯領域ILOの円周方向と概ね一致した直線偏光を使用することが望ましい。

[0089] 更に、レチクルRに、X方向及びY方向のみでなくその中間方向(45° 及び135° 方向)のパターンを含む場合には、これらのパターンの方向性も考慮して、その偏光方向が輪帯領域の円周方向と完全に一致した直線偏光を使用することが望ましい。

ところで、上記の偏光状態は、輪帯領域ILO内各部の偏光状態に適した方向性のパターンと直交するパターンに対しては、必ずしも効果的な偏光状態を実現していない。例えば、部分領域ILUからのX方向に偏光した照明光は、X方向に周期性を有し長手方向がY方向となるパターンPXの結像には好ましくない偏光状態である。ただし、X方向に微細なピッチを有するパターンの結像に寄与する光源を示した図7(C)から明らかな通り、図7(C)では輪帯領域ILOの上端に相当する部分領域ILUは、

そもそもX方向に微細なピッチを有するパターンの結像には何ら寄与しない光源であるから、部分領域ILUの偏光状態がどのようなものであっても、その偏光状態に起因してその結像特性を悪化させることは全くない。

[0090] なお、図8(A)に示した如く、照明光学系ILSの瞳面15において輪帯領域ILOの円周方向とほぼ一致した直線偏光は、レチクルRに対して所謂S偏光として入射する。S偏光とは、光束が物体に入射する入射面(物体の法線と光束とを含む平面)に対して、その偏光方向が直交する直線偏光を意味する。即ち、輪帯領域ILOの円周方向と一致した方向の直線偏光光からなる部分領域ILLからの照明光ILL1は、図8(B)に示した通り、偏光方向EF1が入射面(図8(B)の紙面)に対して垂直なS偏光としてレチクルRに入射する。また、同様な部分領域ILD上の照明光ILD1についても、図8(C)に示した通り、偏光方向EF2が入射面(図8(C)の紙面)に対して垂直なS偏光としてレチクルRに入射する。

[0091] 当然ながら、上記部分領域ILL, ILDと照明光学系の光軸AX41に対して対称な位置にある部分領域ILR, ILUからの照明光も、部分領域ILR, ILU上で各照明光が輪帯領域ILOの円周方向に一致する偏光方向を有するため、対称性からやはりS偏光となってレチクルRに入射する。輪帯照明の一般的な性質として、輪帯領域ILO上に分布する照明光のレチクルRへの入射角度は、照明光学系の光軸AX41(即ちレチクルRに対する垂線)から角度 ϕ を中心とする所定の角度範囲となる。この入射角度でレチクルRに照射される光束を、以下では「特定照明光」と呼ぶ。この角度 ϕ 及び角度範囲は、照明光の波長やレチクルR上の転写すべきパターンのピッチ等に基づいて決定するとよい。

[0092] ところで、上述の第1、第2の複屈折部材12, 13は、その部材に固有の形状から決まる所定の外半径(外円C1)と内半径(内円C2)との間の特定輪帯領域内に分布する照明光の偏光状態を、当該特定輪帯領域の円周方向に平行な直線偏光を主成分とする偏光状態に変換するが、その半径(C2, C1)は、容易な変更が困難である。

そこで、上記のように、所望の輪帯領域をレチクルR上の転写すべきパターンのピッチ等に基づいて変更する必要がある場合には、図1の第1、第2の複屈折部材12, 13とフライアイレンズ14等のオプティカルインテグレーターとの間に、図9に示すように

、ズーム型の複数の円錐プリズム41, 42を設け、上記の特定輪帯領域の半径を可変とすることが望ましい。図9において、ズーム型の複数の円錐プリズムとは、凹型の円錐面41bを有する凹円錐プリズム41と凸型の円錐面42aを有する凸円錐プリズム42とを、その間隔DDを可変として照明系光軸AX2に沿って配置したものである。

[0093] この場合、第1、第2の複屈折部材12, 13を透過し、平均半径RIを中心とする特定輪帯領域に分布する照明光は、ズーム型の円錐プリズム41, 42により、フライアイレンズ14の入射面及びその射出面である照明光学系の瞳面15においては、半径ROに拡大される。この半径ROは、両円錐プリズム41, 42の間隔DDを拡大することにより拡大可能であり、その間隔DDを縮小することにより縮小可能である。

[0094] これにより、照明光学系の瞳面15において、その円周方向に平行な直線偏光からなる照明光が分布する特定輪帯領域を、任意の半径で形成することが可能となり、輪帯照明の照明条件を、転写すべきレチクルR上のパターンに応じて変更することが可能となる。

なお、上記ズーム型円錐プリズム41, 42の代わりに、ズーム光学系を使用しても良いことは勿論である。

[0095] ところで、以上の実施形態においては、図1の照明光学系ILSの瞳面15に形成する照明光量分布が輪帯領域であること、即ち輪帯照明へ適用することを前提に説明したが、図1の投影露光装置により実現できる照明条件は、必ずしも輪帯照明に限定されるものではない。即ち、図1の複屈折部材12, 13や図9のズーム型の円錐プリズム41, 42は、照明光学系の瞳面15内の特定輪帯領域内に分布する照明光の偏光状態を上記所望の偏光状態に設定するものであるから、照明光の分布をその特定輪帯領域内の更に特定の部分領域内に限る場合であっても、即ち例えば図7(C)中の部分領域ILL, ILRに限るような場合であっても、その部分領域内に分布する照明光を、その特定輪帯領域の円周方向に平行な偏光方向を有する直線偏光を主成分とした照明光に変換できることは言うまでもない。

[0096] このように、照明光を特定輪帯領域内の更に特定の領域内にのみ集光するには、図1中の回折光学素子9aを交換し、別の回折光学素子から発生する回折光(照明光)を、第1の複屈折部材12、第2の複屈折部材13上の特定輪帯領域中の更に特

定の離散的な領域に集中させるようにすれば良い。照明光を集中させる箇所は、例えば図7(C)中の部分領域ILL, ILRの2箇所であるが、これに限らず、特定輪帯領域中の任意の箇所に集中させてよく、その個数も4個であっても構わない。その選定は、レチクルR上の露光対象とするパターンの形状に応じて決定すれば良い。

なお、このように照明光を特定輪帯領域内の更に特定の領域内に集中させる場合には、上述のズーム型の円錐プリズム41, 42に代えて、ピラミッド型等の凸型の多面体プリズムと凹型の多面体プリズムとを、同じく間隔可変に組み合わせた光学部材群を使用することもできる。

[0097] なお、これらの特定領域以外に分布する照明光は、上記の露光対象とするパターンの露光には適さないので、その光量分布を実質的に0にした方が好ましい場合もある。一方、回折光学素子9a等の製造誤差などによっては、回折光学素子9a等からは所望の方向以外にも回折光(以下「誤差光」という。)が発生し、上記の部分領域以外にも照明光が分布してしまう可能性もある。そこで、例えば図1のフライアイレンズ14の入射面側又は射出面側に絞りを設けて、この誤差光を遮光する構成とすることもできる。これにより上記の複数の特定領域の照明光量分布は完全に離散的なものとなる。ただし、レチクルR上には上記露光対象とするパターン以外のパターンも存在し、上記誤差光が、これらの対象外のパターンの結像に有効である場合もあるので、必ずしも特定領域以外の照明光量分布を0にする必要がない場合もある。

[0098] ところで、照明光のレチクルRへの入射に着目すると、瞳面15上での照明光量の分布を、特定輪帯領域内の更に特定の領域内に限定することは、輪帯照明による入射角度の範囲の制限に加え、その入射方向についても上記の実質的に離散的な複数の方向からにのみ制限されることになる。当然ながら、本発明を輪帯照明に適用する場合にも、特定輪帯領域以外に分布する誤差光をフライアイレンズ14の入射面側又は射出面側に絞りを設けて、遮光する構成とすることができる。

[0099] なお、以上の実施形態においては、オプティカルインテグレーターとしてフライアイレンズ14を使用するものとしたが、オプティカルインテグレーターとして内面反射型インテグレーター(例えばガラスロッド)を使用することもできる。この場合、ガラスロッドの射出面は照明光学系の瞳面14ではなく、レチクルRとの共役面に配置することに

なる。

- [0100] また、以上の実施形態においては、露光光源1としてのレーザー光源は、X方向に偏光した直線偏光光を射出するものとしたが、レーザー光源の形態によっては、図1中のZ方向に偏光した直線偏光光や他の偏光状態の光束を射出する場合もあり得る。図1中の露光光源1が、Y方向に直線偏光した光、即ち複屈折部材12, 13の位置においてZ方向に直線偏光した光を射出する場合には、上記の第1及び第2実施例に示した複屈折部材12, 13を、照明系光軸AX2を回転中心として90° 回転することにより、図4(C)及び図6(C)に示した偏光状態とほぼ同様な偏光状態の照明光(正確には両図に示した状態を90° 回転した状態の照明光)を得ることができる。
- [0101] 或いは、図1中の偏光制御部材4(偏光制御機構)により、露光光源1から射出されたY方向の直線偏光をX方向の直線偏光に変換しても良い。このような偏光制御部材4は、所謂1/2波長板により容易に実現できる。なお、露光光源1が円偏光又は楕円偏光を射出する場合にも、同様に1/2波長板や1/4波長板を偏光制御部材4として使用することで、所望のZ方向への直線偏光に変換することができる。
- [0102] ただし、偏光制御部材4は、露光光源1から照射される任意の偏光状態の光束を、光量損失無くZ方向の偏光に変換できるわけではない。従って、露光光源1は直線偏光、円偏光、楕円偏光など、単一の偏光状態を有する光束(波長板等により光量損失無く直線偏光に変換できる光束)を発生する必要がある。ただし、照明光の全体強度に対して、上記の単一の偏光状態以外の光束の強度がそれ程大きくない場合には、単一の偏光状態以外の光束の結像特性への悪影響は軽微となるので、或る程度(例えば全光量の20%以下程度)までなら、露光光源1から照射される光束は、上記単一の偏光状態以外の光束を含んでいても構わない。
- [0103] なお、上記の実施形態の投影露光装置の使用状態を考慮すると、照明光の偏光状態を常に、上記特定輪帶領域に分布する照明光をその輪帶領域の円周方向に概ね平行な直線偏光とする、又は上記特定照明光がレチクルRに対してS偏光として入射するように設定することが最良であるとは限らない。即ち、露光すべきレチクルRのパターンによっては、輪帯照明ではなく通常照明(照明光学系の瞳面15において、円形の照明光量分布を有する照明)を採用する方が好ましい場合もあり、この場合に

は上記の実施形態の偏光状態を有する照明光を使用しない方が好ましい場合もあるからである。

[0104] そこで、このような使用状況にも対応するには、図1の偏光制御部材4として、レーザー等の光源から射出される光束の偏光状態を、必要に応じてランダム偏光等に変換できる素子又は光学系を採用するとよい。これは例えば図10に示すような2個の偏光ビームスプリッター4b, 4c等により実現できる。

図10は、図1の偏光制御部材4の位置に設置できる偏光制御光学系を示し、この図10において、例えば直線偏光光からなる照明光束IL0(図1の照明光ILに対応する)は、1/2波長板又は1/4波長板からなる回転波長板4aに入射する。これにより図10の紙面から45° 傾いた方向の直線偏光又は円偏光に変換された照明光束IL1は、最初の偏光ビームスプリッター4bによりその分割面に対してP偏光成分からなる光束IL2及びS偏光成分からなるIL3に分割され、一方の光束IL2はプリズム4bを図10中上方に直進し、他方の光束IL3は図10中右方に反射される。

[0105] 直進した光束IL2は、次の偏光ビームスプリッター4cに入射するが、その偏光特性から、その光束IL2は偏光ビームスプリッター4c内を直進し、光束IL4となって図10中上方に進む。一方、反射された光束IL3は、ミラー4d, 4eにより反射されてから偏光ビームスプリッター4cに入射し、ここで再度反射された光束IL3は上記の直進する光束IL4と再度合流する。このとき、偏光ビームスプリッター4b及び4cとミラー4d及び4eとの間隔をそれぞれDLとすると、合流した両光束IL3, IL4の間には、 $2 \times DL$ の光路長差が形成されている。そして、この光路長差 $2 \times DL$ を照明光束のコヒーレント長より長く設定すれば、両光束間の可干渉性は消失するため、合流した光束を実質的にランダム偏光とすることができる。

[0106] なお、このような偏光制御光学系を図1の照明光学系ILS中に装填すると、これを透過する照明光ILが常にランダム偏光となり、上記の実施形態の偏光状態を実現するためには障害となりかねない。ただし、図10に示した光学系では、回転波長板4aの回転により、回転波長板4aを透過した照明光IL1の偏光状態を、その全てが最初のビームスプリッター4bを透過する直線偏光に変換することができるため、上記の障害は原理的に生じない。ただし、偏光ビームスプリッター4b, 4cにおける吸収や、ミラ

ー4d, 4eにおける反射損失等による或る程度の光量損失が生じることは回避できないため、照明光をランダム偏光化しなくて良い場合には、ビームスプリッター4b, 4c及び回転波長板4aを照明光学系の光路外に待避させるような機構を設けても良い。

[0107] ところで、このような偏光ビームスプリッターを使用せずとも、以下の簡便な方法によりランダム偏光照明とほぼ同様の効果を得ることもできる。これは、図1の第1の複屈折部材12に入射する照明光ILの偏光状態を、図1中のX方向及びZ方向から45°離れた方向とすることで、上記特定輪帯領域に分布する照明光を概ね円偏光に変換することにより実現できる。従って、本実施形態の投影露光装置を、円偏光を近似的にランダム偏光とみなせる用途で使用する場合には、即ち要求される結像性能が比較的緩い用途で使用する場合には、図1中の偏光制御部材4を例えば1/2波長板で構成し、第1の複屈折部材12に入射する照明光の偏光状態を、上記のようにX軸及びZ軸から45°傾斜した方向とすることで、ランダム偏光照明とほぼ同様の効果を得ることもできる。また、同様に偏光制御部材4を例えば1/4波長板で構成し、第1の複屈折部材12に入射する照明光の偏光状態を、円偏光とすることによっても、ランダム偏光照明と同様の効果を得ることもできる。

[0108] 或いは、図1中の第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13を、照明光学系ILSの光軸である照明系光軸AX2を中心として一括して回転可能とする機構により、両複屈折部材12, 13と照明光の直線偏光の方向との関係を、例えば45°回転することとしても、ランダム偏光照明と同様の効果を得ることもできる。

ところで、上記通常照明においても、その偏光状態を所定の1方向への直線偏光に設定した方が好ましい場合もある。上記の実施形態の投影露光装置において、このような照明条件に対応するには、図1の第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13等の各複屈折部材を、それぞれ独立して照明系光軸AX2を中心として一括して回転可能とする機構を設け、各複屈折部材の進相軸(又は遅相軸)が、照明光の直線偏光の方向と平行になるように各複屈折部材の回転方向を設定すると良い。この場合、照明光は各複屈折部材を進行しても偏光状態の変換作用を全く受けることが無く、入射時の直線偏光を保ったまま射出されることになる。

[0109] なお、所定の1方向への直線偏光状態の設定に際しては、第1の複屈折部材12及

び第2の複屈折部材13等を一括して照明光学系の光路外に待避させることによって対応可能である。即ち、交換機構を設け、複屈折部材等を一括して交換することにより所定の1方向への直線偏光状態の設定に対応しても良い。また、交換機構を設けるのであれば、交換機構中の複数组の複屈折部材群を設定可能とし、それらを交換可能に照明系光軸AX2上の位置上に配置可能な構成としてもよい。この場合、各複屈折部材群は、それぞれ異なる外半径、内半径を有する特定輪帯領域で、照明光をその周方向に沿った直線偏光に変換する特性を持たせておくことが好ましいことは言うまでもない。

[0110] ところで、上記のような所定の1方向への直線偏光の照明光を使用して好ましいのは、例えば、パターンの方が揃った空間周波数変調型の位相シフトレチクルを露光する場合である。そして、この場合には、露光転写されるパターンの解像度及び焦点深度を一層向上するために、照明光のコヒーレンスファクタ(σ 値)は、0.4程度以下であることが望ましい。

ここで、本発明による複屈折部材(第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13)の作用について、図4(C)及び図6(C)を参照して再考すると、両図にそれぞれ示した通り、第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13の第1の実施例(図4(C))と第2の実施例(図6(C))とはともに、照明光学系の光軸($X=0$, $Z=0$)を中心とする、特定輪帯領域の外半径C1の半径の半分程度を半径とする円(不図示)の内側に分布する照明光の偏光状態に、ほとんど影響を及ぼしていないことが分かる。

[0111] 外半径C1の半径が、照明 σ (σ 値)として例えば0.9に相当するとすれば、照明 $\sigma=0.45$ の照明光束の範囲内では、第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13は、入射するX方向の直線偏光を、ほぼそのままの偏光状態を保って射出している。また、第1の複屈折部材12にZ方向の直線偏光(Z偏光)を入射すれば、第2の複屈折部材13から射出される光束のうち、上記の照明 $\sigma=0.45$ 程度の照明光束の偏光状態をZ偏光とできる。

[0112] 従って、上記第1及び第2の実施例の如き複屈折部材(第1の複屈折部材12及び第2の複屈折部材13)を使用するのであれば、これを照明光学系の光路外に退避させることなく、複屈折部材への入射光の偏光方向を、上述の偏光制御部材4等により

切り替えることにより、上述の空間周波数変調型位相シフトレチクルへの照明に適した、照明 σ が0.4程度以下の照明光束であって、かつX方向又はZ方向の偏光(図1のレチクルR上ではそれぞれX方向又はY方向の偏光)の照明光を実現することができる。

勿論、この場合にも、照明 σ を0.4程度に制限するには、発生する回折光の方向特性が、これに対応する角度分布となるような回折光学素子9aを使用すると良いことは言うまでもない。これにより、上記一括交換機構を設けることなく各種の実用的な偏光状態の照明光束を形成することができることも、本発明の利点である。

[0113] 次に、上記の実施の形態の投影露光装置を使用した半導体デバイスの製造工程の一例につき図11を参照して説明する。

図11は、半導体デバイスの製造工程の一例を示し、この図11において、まずシリコン半導体等からウェハWが製造されている。その後、ウェハW上にフォトリソを塗布し(ステップS10)、次のステップS12において、上記の実施形態(図1)の投影露光装置のレチクルステージ上にレチクル(仮にR1とする)をロードし、ウェハステージ上にウェハWをロードして、走査露光方式でレチクルR1のパターン(符号Aで表わす)をウェハW上の全部のショット領域SEに転写(露光)する。この際に必要に応じて二重露光が行われる。なお、ウェハWは例えば直径300mmのウェハ(12インチウェハ)であり、ショット領域SEの大きさは一例として非走査方向の幅が25mmで走査方向の幅が33mmの矩形領域である。次に、ステップS14において、現像及びエッチングやイオン注入等を行うことにより、ウェハWの各ショット領域SEに所定のパターンが形成される。

[0114] 次に、ステップS16において、ウェハW上にフォトリソを塗布し、その後ステップS18において、上記の実施の形態(図1)の投影露光装置のレチクルステージ上にレチクル(仮にR2とする)をロードし、ウェハステージ上にウェハWをロードして、走査露光方式でレチクルR2のパターン(符号Bで表わす)をウェハW上の各ショット領域SEに転写(露光)する。そして、ステップS20において、ウェハWの現像及びエッチングやイオン注入等を行うことにより、ウェハWの各ショット領域に所定のパターンが形成される。

- [0115] 以上の露光工程ーパターン形成工程(ステップS16ーステップS20)は所望の半導体デバイスを製造するのに必要な回数だけ繰り返される。そして、ウェハW上の各チップCPを1つ1つ切り離すダイシング工程(ステップS22)や、ボンディング工程、及びパッケージング工程等(ステップS24)を経ることによって、製品としての半導体デバイスSPが製造される。
- [0116] 本例のデバイス製造方法によれば、上記の実施形態の投影露光装置で露光を行っているため、露光工程において、照明光(露光ビーム)の利用効率を高めた状態で所定の偏光状態でレチクルを照明できる。従って、微細ピッチの周期的なパターン等の解像度等が向上しているため、より高集積で高性能な半導体集積回路を、高いスループットで安価に製造することが可能となる。
- [0117] また、上記の実施形態の投影露光装置は、複数のレンズから構成される照明光学系、投影光学系を露光装置本体に組み込み光学調整をして、多数の機械部品からなるレチクルステージやウェハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整(電気調整、動作確認等)をすることにより製造することができる。なお、その投影露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。
- [0118] また、本発明は、走査露光型の投影露光装置のみならず、ステッパー等の一括露光型の投影露光装置にも適用することができる。また、使用される投影光学系の倍率は、縮小倍率のみならず、等倍や拡大倍率であってもよい。更に、本発明は、例えば国際公開(WO)第99/49504号などに開示される液浸型露光装置にも適用することができる。

また、本発明の投影露光装置の用途としては半導体デバイス製造用の露光装置に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに形成される液晶表示素子、若しくはプラズマディスプレイ等のディスプレイ装置用の露光装置や、撮像素子(CCD等)、マイクロマシーン、薄膜磁気ヘッド、及びDNAチップ等の各種デバイスを製造するための露光装置にも広く適用できる。更に、本発明は、各種デバイスのマスクパターンが形成されたマスク(X線マスクを含むフォトマスク、レチクル等)をフォトリソグラフィ工程を用いて製造する際の、露光工程(露光装置)にも適用することができる。

[0119] また、上述の実施形態に示した投影露光装置に含まれる照明光学系(2ー20)はレチクルR等の第1物体を照明するための照明光学装置としても適用可能であることは言うまでも無い。

なお、本発明は上述の実施形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。また、明細書、特許請求の範囲、図面、及び要約を含む2003年10月28日付け提出の日本国特願2003ー367963の全ての開示内容は、そっくりそのまま引用して本願に組み込まれている。

産業上の利用可能性

[0120] 本発明のデバイス製造方法によれば、露光ビーム(照明光)の利用効率を高めることができるとともに、所定パターンを高精度に形成できる。従って、半導体集積回路等の各種デバイスを高精度に、かつ高い処理能力(スループット)で製造できる。

請求の範囲

- [1] 光源からの照明光を第1物体に照射する照明光学系と、前記第1物体上のパターンの像を第2物体上に投影する投影光学系とを有する投影露光装置であって、
前記光源は、前記照明光を実質的に単一の偏光状態で生成し、
前記照明光学系は、前記照明光の進行方向に沿って配置される複数の複屈折部材を有し、
かつ前記複数の複屈折部材のうち少なくとも1つの複屈折部材の進相軸の方向が、他の複屈折部材の進相軸の方向と異なるものであり、
前記照明光のうち、特定の入射角度範囲で前記第1物体に照射される特定照明光を、S偏光を主成分とする偏光状態の光とすることを特徴とする投影露光装置。
- [2] 前記第1物体に照射される前記照明光を、前記特定照明光に制限する光束制限部材を有することを特徴とする請求項1に記載の投影露光装置。
- [3] 前記光束制限部材は、更に前記第1物体に照射される前記照明光の入射方向を特定の实質的に離散的な複数の方向に制限することを特徴とする請求項2に記載の投影露光装置。
- [4] 光源からの照明光を第1物体に照射する照明光学系と、前記第1物体上のパターンの像を第2物体上に投影する投影光学系とを有する投影露光装置であって、
前記光源は、前記照明光を実質的に単一の偏光状態で生成し、
前記照明光学系は、前記照明光の進行方向に沿って配置される複数の複屈折部材を有し、
かつ前記複数の複屈折部材のうち少なくとも1つの複屈折部材の進相軸の方向が、他の複屈折部材の進相軸の方向と異なるものであり、
前記照明光学系中の瞳面またはその近傍の面内における、前記照明光学系の光軸を中心とする所定の輪帯領域である特定輪帯領域内の少なくとも一部の領域を通過する前記照明光が、前記特定輪帯領域の円周方向を偏光方向とする直線偏光を主成分とする偏光状態であることを特徴とする投影露光装置。
- [5] 前記第1物体に照射される前記照明光を、実質的に前記特定輪帯領域内に分布する光束に制限する光束制限部材を有することを特徴とする請求項4に記載の投影

露光装置。

- [6] 前記光束制限部材は、前記光束を更に前記特定輪帯領域内の実質的に離散的な複数の領域内に制限することを特徴とする請求項5に記載の投影露光装置。
- [7] 前記光束制限部材は、前記光源と前記複数の複屈折部材との間に配置される回折光学素子を含むことを特徴とする請求項2、3、5、または6に記載の投影露光装置。
- [8] 前記複数の複屈折部材のうち少なくとも1つの部材は、透過光のうち進相軸に平行な直線偏光成分と遅相軸に平行な直線偏光成分との間に与える位相差である偏光間位相差が、前記部材の位置に対して非線形に変化する不均一波長板であることを特徴とする請求項1から6のいずれか一項に記載の投影露光装置。
- [9] 前記不均一波長板は、前記特定照明光または前記特定輪帯領域に分布する照明光に対して、前記照明光学系の光軸を中心として2回回転対称性を有する偏光間位相差を与える第1の不均一波長板を含むことを特徴とする請求項8に記載の投影露光装置。
- [10] 前記不均一波長板は、前記特定照明光または前記特定輪帯領域に分布する照明光に対して、前記照明光学系の光軸を中心として1回回転対称性を有する偏光間位相差を与える第2の不均一波長板を更に含むことを特徴とする請求項9に記載の投影露光装置。
- [11] 前記第1及び第2の不均一波長板は、前記進相軸の方向が、前記照明光学系の光軸を回転中心として、相互に45° ずれたものであることを特徴とする請求項10に記載の投影露光装置。
- [12] 前記複数の複屈折部材と前記第1物体との間に配置されたオプティカルインテグレーターを更に含むことを特徴とする請求項1から6のいずれか一項に記載の投影露光装置。
- [13] 前記複数の複屈折部材と前記オプティカルインテグレーターとの間に配置されたズーム光学系、間隔可変の円錐プリズム群、または多面体プリズム群を更に含むことを特徴とする請求項12に記載の投影露光装置。
- [14] 前記オプティカルインテグレーターは、フライアイレンズであることを特徴とする請求

項12または13に記載の投影露光装置。

- [15] 前記光源と前記複数の複屈折部材との間に配置されて前記光源からの前記照明光の偏光状態を変換する偏光制御機構を有することを特徴とする請求項1から6のいずれか一項に記載の投影露光装置。
- [16] 前記複数の複屈折部材の一部または全部を、前記照明光学系の光軸を中心として回転可能ならしめる回転機構を有することを特徴とする請求項1から6のいずれか一項に記載の投影露光装置。
- [17] 前記複数の複屈折部材を複数組備え、前記複数組の前記複数の複屈折部材を、前記照明光学系内に交換可能に配置する複屈折部材交換機構を有することを特徴とする請求項1から6のいずれか一項に記載の投影露光装置。
- [18] 請求項1から6のいずれか一項に記載の投影露光装置を用いて、前記第1物体としてのマスクのパターンの像で前記第2物体としての感光体を露光することを特徴とする露光方法。
- [19] リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、
前記リソグラフィ工程で請求項18に記載の露光方法を用いてパターンを感光体に転写することを特徴とするデバイス製造方法。
- [20] 請求項7に記載の投影露光装置を用いて、前記第1物体としてのマスクのパターンの像で前記第2物体としての感光体を露光することを特徴とする露光方法。
- [21] リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、
前記リソグラフィ工程で請求項20に記載の露光方法を用いてパターンを感光体に転写することを特徴とするデバイス製造方法。
- [22] 光源からの照明光を第1物体に照射する照明光学系と、前記第1物体上のパターンの像を第2物体上に投影する投影光学系とを有する投影露光装置であって、
前記光源は、前記照明光を実質的に単一の偏光状態で生成し、
前記照明光学系は、前記照明光の進行方向に沿って順に配置される、回折光学素子と複屈折部材とを有することを特徴とする投影露光装置。
- [23] 前記回折光学素子は、前記第1物体に照射される前記照明光を、特定の入射角度範囲で前記第1物体に照射される特定照明光に実質的に制限するとともに、

前記複屈折部材は、前記特定照明光をS偏光を主成分とする偏光状態の光とすることを特徴とする請求項22に記載の投影露光装置。

[24] 前記回折光学素子は、更に前記第1物体に照射される前記照明光の入射方向を特定の実質的に離散的な複数の方向に制限することを特徴とする請求項23に記載の投影露光装置。

[25] 前記回折光学素子は、前記照明光を、前記照明光学系中の瞳面内の、前記照明光学系の光軸を中心とする所定の輪帯領域である特定輪帯領域内に分布する光束に実質的に制限するとともに、

前記複屈折部材は、前記光束を、円周方向を偏向方向とする直線偏光を主成分とする偏光状態とすることを特徴とする請求項22に記載の投影露光装置。

[26] 前記回折光学素子は、前記光束を更に前記特定輪帯領域内の実質的に離散的な複数の領域内に制限することを特徴とする請求項25に記載の投影露光装置。

[27] 請求項22から26のいずれか一項に記載の投影露光装置を用いて、前記第1物体としてのマスクのパターンの像で前記第2物体としての感光体を露光することを特徴とする露光方法。

[28] リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記リソグラフィ工程で請求項27に記載の露光方法を用いてパターンを感光体に転写することを特徴とするデバイス製造方法。

[29] 光源からの照明光を第1物体に照射する照明光学装置であって、

前記照明光の進行方向に沿って配置される複数の複屈折部材を有し、
かつ前記複数の複屈折部材のうち少なくとも1つの複屈折部材の進相軸の方向が、他の複屈折部材の進相軸の方向と異なるものであり、

前記光源から供給される実質的に単一の偏光状態である照明光のうち、前記第1物体に特定の入射角度範囲で照射される特定照明光を、S偏光を主成分とする偏光状態の光とすることを特徴とする照明光学装置。

[30] 前記第1物体に照射される前記照明光を、前記特定照明光に制限する光束制限部材を有することを特徴とする請求項29に記載の照明光学装置。

[31] 前記光束制限部材は、更に前記第1物体に照射される前記照明光の入射方向を

特定の実質的に離散的な複数の方向に制限することを特徴とする請求項30に記載の照明光学装置。

[32] 前記光束制限部材は、回折光学素子を含むことを特徴とする請求項30または31に記載の照明光学装置。

[33] 前記複数の複屈折部材のうち少なくとも1つの部材は、透過光のうち進相軸に平行な直線偏光成分と遅相軸に平行な直線偏光成分との間に与える位相差である偏光間位相差が、前記部材の位置に対して非線形に変化する不均一波長板であることを特徴とする請求項29から31のいずれか一項に記載の照明光学装置。

[34] 前記不均一波長板は、前記特定照明光または前記特定輪帯領域に分布する照明光に対して、前記照明光学系の光軸を中心として2回回転対称性を有する偏光間位相差を与える第1の不均一波長板を含むことを特徴とする請求項33に記載の照明光学装置。

[35] 前記不均一波長板は、前記特定照明光または前記特定輪帯領域に分布する照明光に対して、前記照明光学系の光軸を中心として1回回転対称性を有する偏光間位相差を与える第2の不均一波長板を更に含むことを特徴とする請求項34に記載の照明光学装置。

[36] 前記第1及び第2の不均一波長板は、前記進相軸の方向が、前記照明光学系の光軸を回転中心として、相互に45° ずれたものであることを特徴とする請求項35に記載の照明光学装置。

[37] 前記複数の複屈折部材と前記第1物体との間に配置されたオプティカルインテグレーターを更に含むことを特徴とする請求項29から31のいずれか一項に記載の照明光学装置。

[38] 前記光束制限部材は、回折光学素子であるとともに、

前記複数の複屈折部材と前記第1物体との間に配置されたオプティカルインテグレーターを含むことを特徴とする請求項30または31に記載の照明光学装置。

[39] 光源からの照明光を第1物体に照射する照明光学装置であって、

前記照明光の進行方向に沿って順に配置される、回折光学素子と複屈折部材とを有することを特徴とする照明光学装置。

- [40] 前記回折光学素子は、前記第1物体に照射される前記照明光を、特定の入射角度範囲で前記第1物体に照射される特定照明光に実質的に制限するとともに、
前記複屈折部材は、前記特定照明光をS偏光を主成分とする偏光状態の光とすることを特徴とする請求項39に記載の照明光学装置。
- [41] 前記回折光学素子は、更に前記第1物体に照射される前記照明光の入射方向を特定の实質的に離散的な複数の方向に制限することを特徴とする請求項40に記載の照明光学装置。
- [42] 前記複屈折部材と前記第1物体との間に配置されたオプティカルインテグレーターを含むことを特徴とする請求項39から41のいずれか一項に記載の照明光学装置。

補正書の請求の範囲

補正書の請求の範囲〔2005年3月15日（15.03.05）国際事務局受理：出願当初の請求の範囲27—42は補正された；新たな請求の範囲43—46が追加された；他の請求の範囲は変更なし。（3頁）〕

前記複屈折部材は、前記特定照明光をS偏光を主成分とする偏光状態の光とすることを特徴とする請求項22に記載の投影露光装置。

[24] 前記回折光学素子は、更に前記第1物体に照射される前記照明光の入射方向を特定の実質的に離散的な複数の方向に制限することを特徴とする請求項23に記載の投影露光装置。

[25] 前記回折光学素子は、前記照明光を、前記照明光学系中の瞳面内の、前記照明光学系の光軸を中心とする所定の輪帯領域である特定輪帯領域内に分布する光束に実質的に制限するとともに、

前記複屈折部材は、前記光束を、円周方向を偏向方向とする直線偏光を主成分とする偏光状態とすることを特徴とする請求項22に記載の投影露光装置。

[26] 前記回折光学素子は、前記光束を更に前記特定輪帯領域内の実質的に離散的な複数の領域内に制限することを特徴とする請求項25に記載の投影露光装置。

[27] （補正後）前記複屈折部材は、透過光のうち進相軸に平行な直線偏光成分と遅相軸に平行な直線偏光成分との間に与える位相差である偏光間位相差が、前記部材の位置に対して非線形に変化する不均一波長板であることを特徴とする請求項22に記載の投影露光装置。

[28] （補正後）前記複屈折部材は、前記照明光の進行方向についての厚さが一様ではないことを特徴とする請求項27に記載の投影露光装置。

[29] （補正後）請求項22から28のいずれか一項に記載の投影露光装置を用いて、前記第1物体としてのマスクのパターンの像で前記第2物体としての感光体を露光することを特徴とする露光方法。

[30] （補正後）リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、
前記リソグラフィ工程で請求項29に記載の露光方法を用いてパターンを感光体に転写することを特徴とするデバイス製造方法。

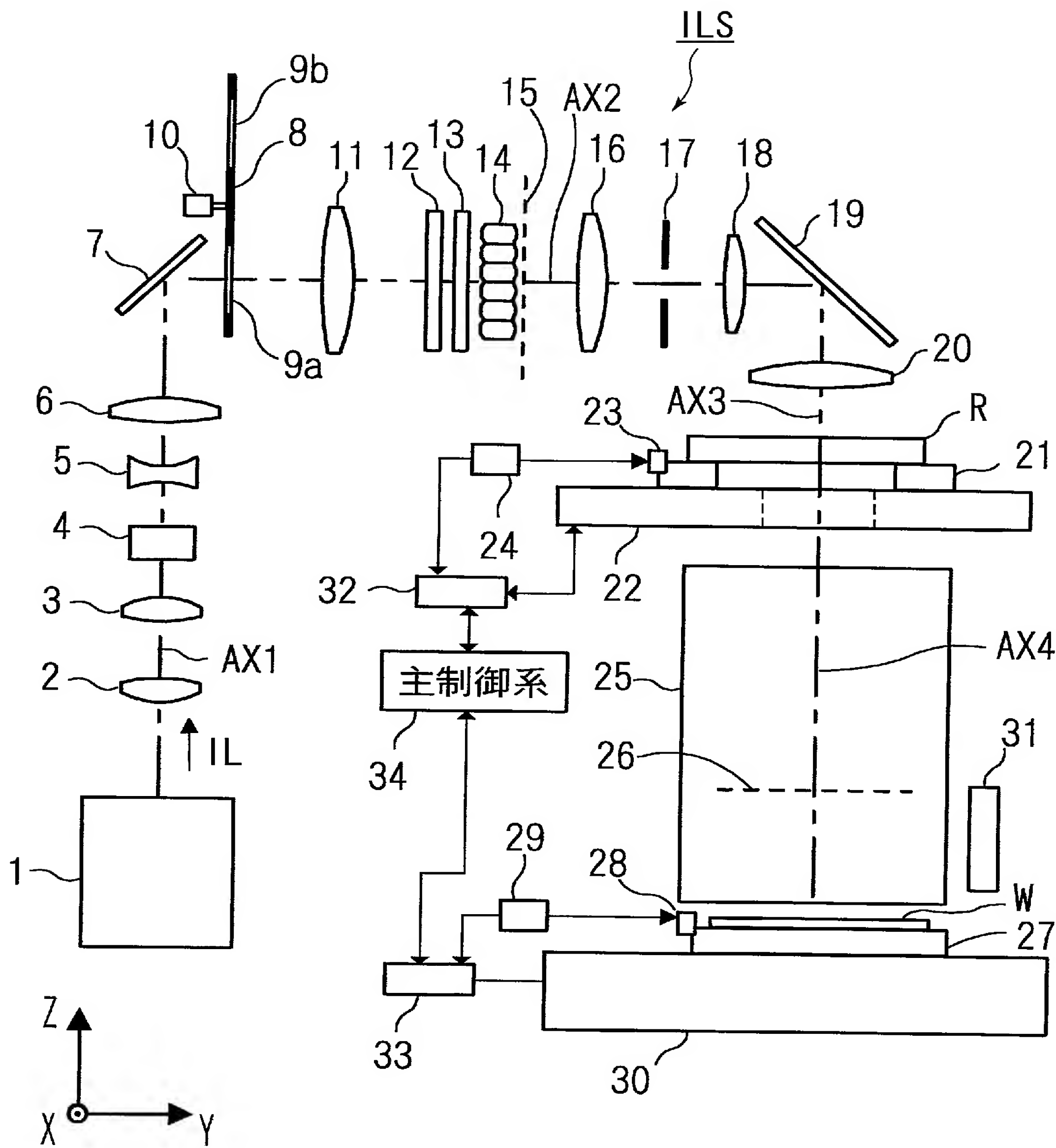
[31] （補正後）光源からの照明光を第1物体に照射する照明光学装置であって、
前記照明光の進行方向に沿って配置される複数の複屈折部材を有し、
かつ前記複数の複屈折部材のうち少なくとも1つの複屈折部材の進相軸の方向が、他の複屈折部材の進相軸の方向と異なるものであり、

前記光源から供給される実質的に単一の偏光状態である照明光のうち、前記第1物体に特定の入射角度範囲で照射される特定照明光を、S偏光を主成分とする偏光状態の光とすることを特徴とする照明光学装置。

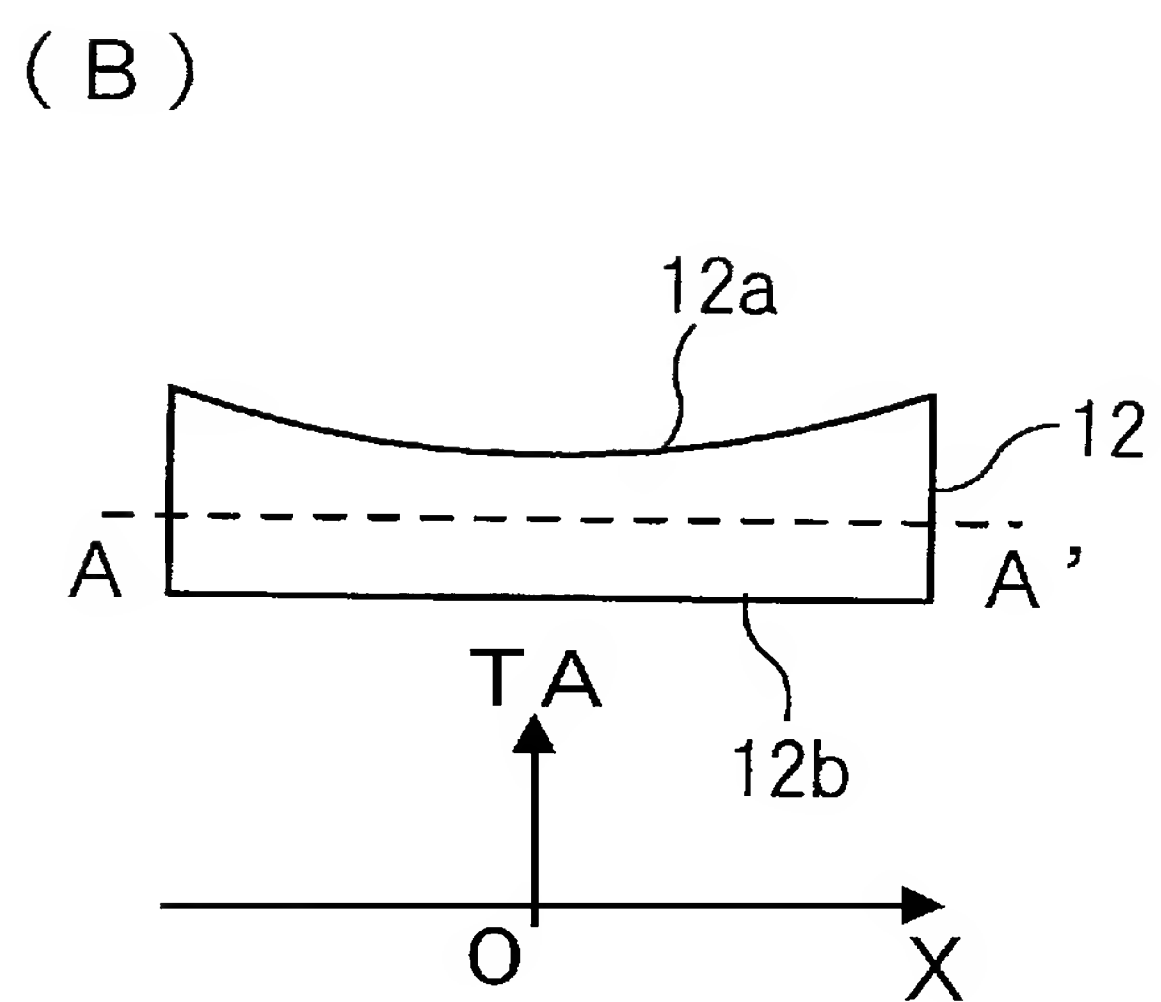
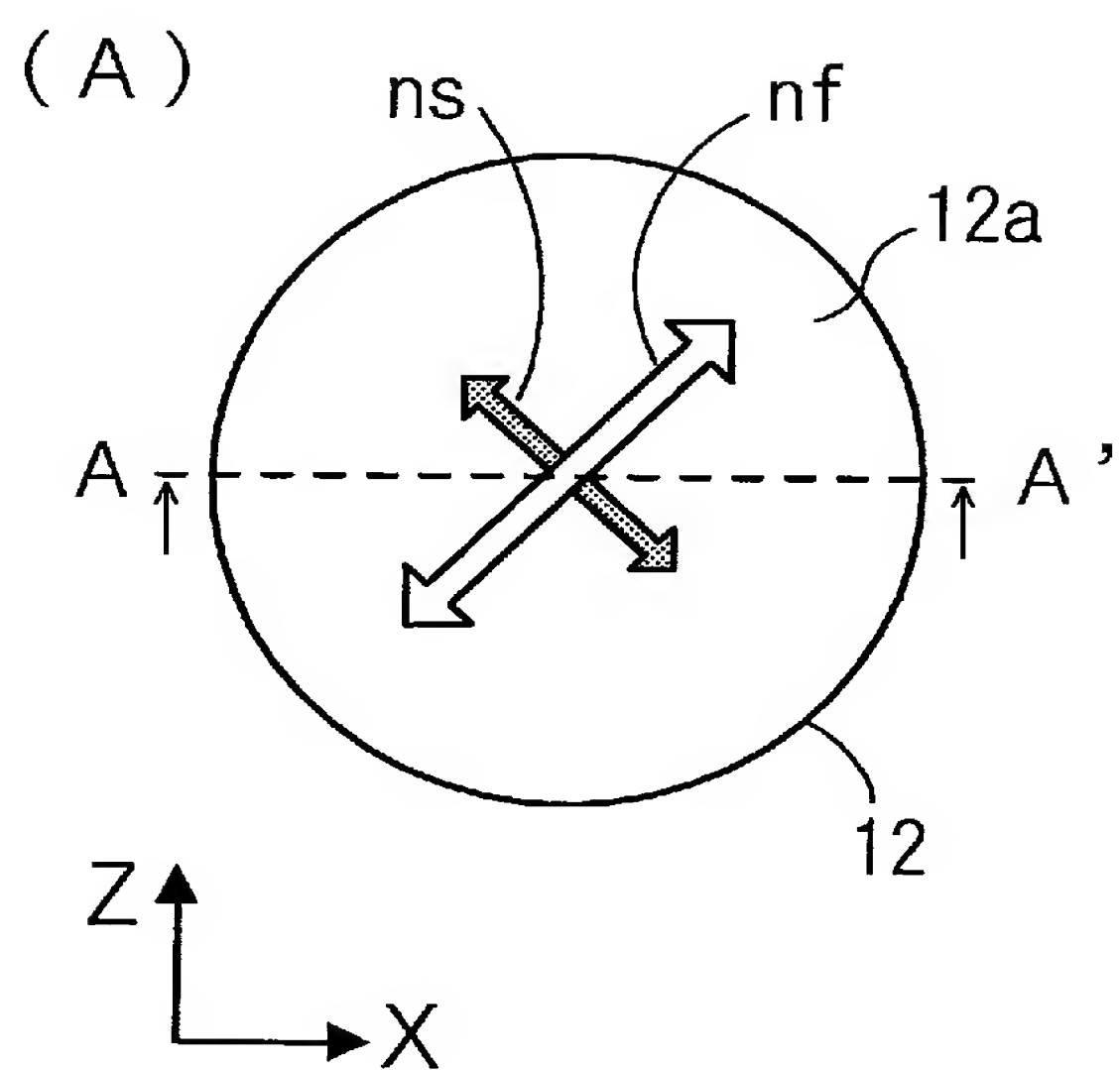
- [32] (補正後)前記第1物体に照射される前記照明光を、前記特定照明光に制限する光束制限部材を有することを特徴とする請求項31に記載の照明光学装置。
- [33] (補正後)前記光束制限部材は、更に前記第1物体に照射される前記照明光の入射方向を特定の実質的に離散的な複数の方向に制限することを特徴とする請求項32に記載の照明光学装置。
- [34] (補正後)前記光束制限部材は、回折光学素子を含むことを特徴とする請求項32または33に記載の照明光学装置。
- [35] (補正後)前記複数の複屈折部材のうち少なくとも1つの部材は、透過光のうち進相軸に平行な直線偏光成分と遅相軸に平行な直線偏光成分との間に与える位相差である偏光間位相差が、前記部材の位置に対して非線形に変化する不均一波長板であることを特徴とする請求項31から33のいずれか一項に記載の照明光学装置。
- [36] (補正後)前記不均一波長板は、前記特定照明光または前記特定輪帶領域に分布する照明光に対して、前記照明光学系の光軸を中心として2回回転対称性を有する偏光間位相差を与える第1の不均一波長板を含むことを特徴とする請求項35に記載の照明光学装置。
- [37] (補正後)前記不均一波長板は、前記特定照明光または前記特定輪帶領域に分布する照明光に対して、前記照明光学系の光軸を中心として1回回転対称性を有する偏光間位相差を与える第2の不均一波長板を更に含むことを特徴とする請求項36に記載の照明光学装置。
- [38] (補正後)前記第1及び第2の不均一波長板は、前記進相軸の方向が、前記照明光学系の光軸を回転中心として、相互に45°ずれたものであることを特徴とする請求項37に記載の照明光学装置。
- [39] (補正後)前記複数の複屈折部材と前記第1物体との間に配置されたオプティカルインテグレーターを更に含むことを特徴とする請求項31から33のいずれか一項に記載の照明光学装置。

- [40] (補正後)前記光束制限部材は、回折光学素子であるとともに、
前記複数の複屈折部材と前記第1物体との間に配置されたオプティカルインテグレーターを含むことを特徴とする請求項32または33に記載の照明光学装置。
- [41] (補正後)光源からの照明光を第1物体に照射する照明光学装置であって、
前記照明光の進行方向に沿って順に配置される、回折光学素子と複屈折部材とを有することを特徴とする照明光学装置。
- [42] (補正後)前記回折光学素子は、前記第1物体に照射される前記照明光を、特定の入射角度範囲で前記第1物体に照射される特定照明光に実質的に制限するとともに、
前記複屈折部材は、前記特定照明光をS偏光を主成分とする偏光状態の光とすることを特徴とする請求項41に記載の照明光学装置。
- [43] (追加)前記回折光学素子は、更に前記第1物体に照射される前記照明光の入射方向を特定の实質的に離散的な複数の方向に制限することを特徴とする請求項42に記載の照明光学装置。
- [44] (追加)前記複屈折部材は、透過光のうち進相軸に平行な直線偏光成分と遅相軸に平行な直線偏光成分との間に与える位相差である偏光間位相差が、前記部材の位置に対して非線形に変化する不均一波長板であることを特徴とする請求項41に記載の照明光学装置。
- [45] (追加)前記複屈折部材は、前記照明光の進行方向についての厚さが一様ではないことを特徴とする請求項44に記載の照明光学装置。
- [46] (追加)前記複屈折部材と前記第1物体との間に配置されたオプティカルインテグレーターを含むことを特徴とする請求項41から45のいずれか一項に記載の照明光学装置。

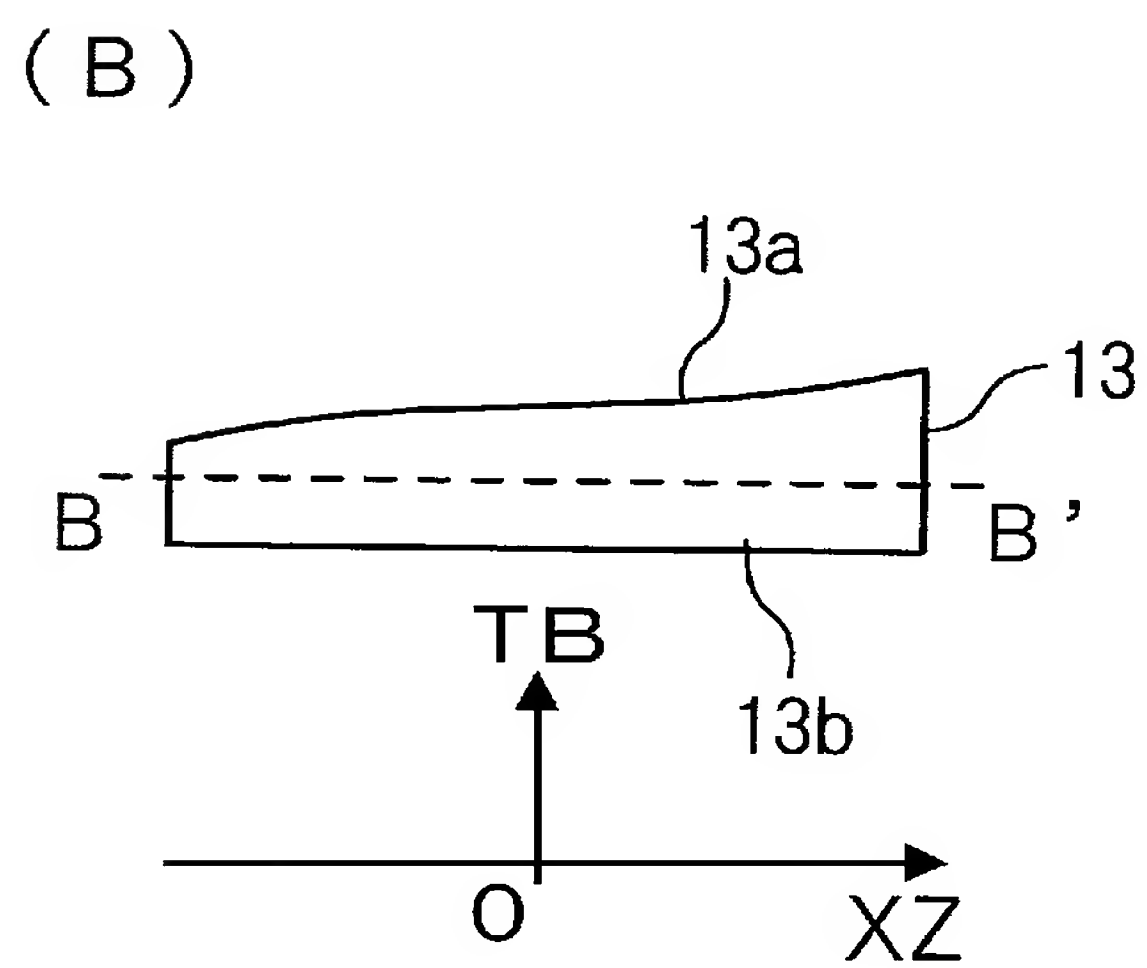
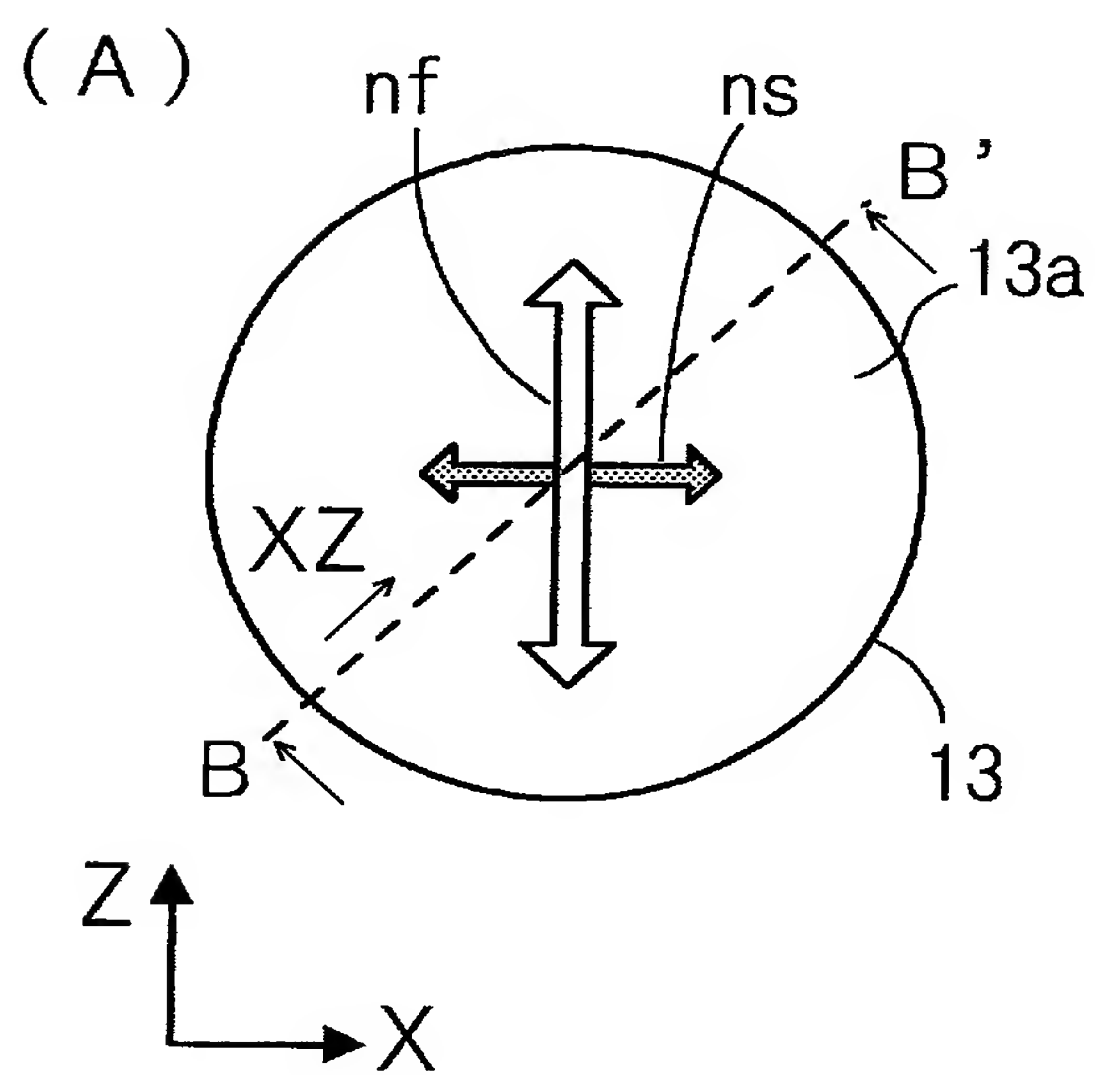
[[図1]]



[[図2]]

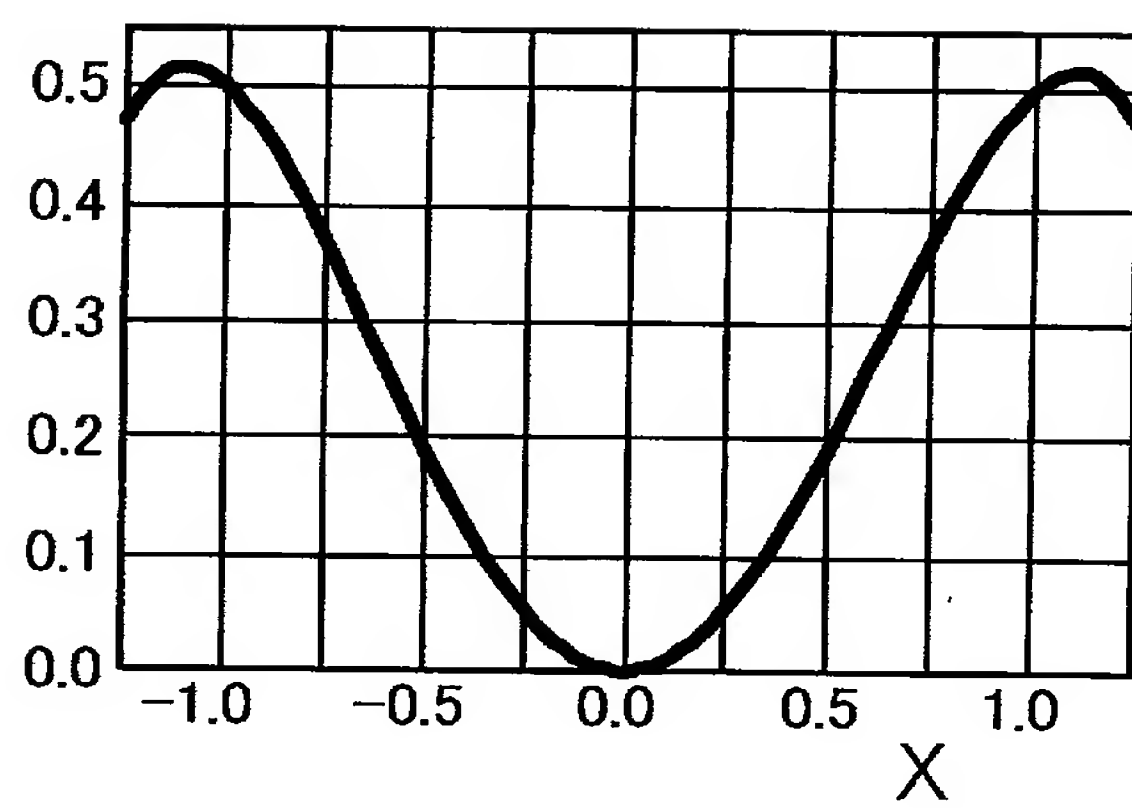


[[図3]]

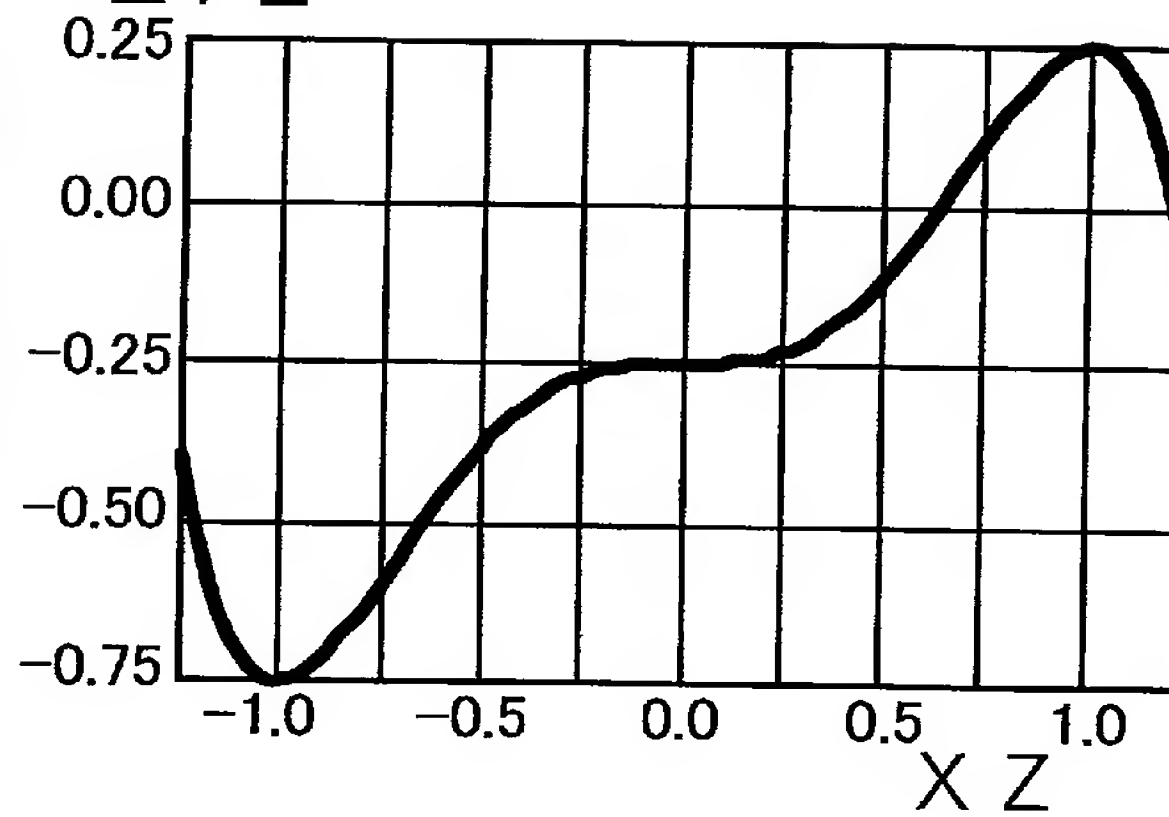


[図4]

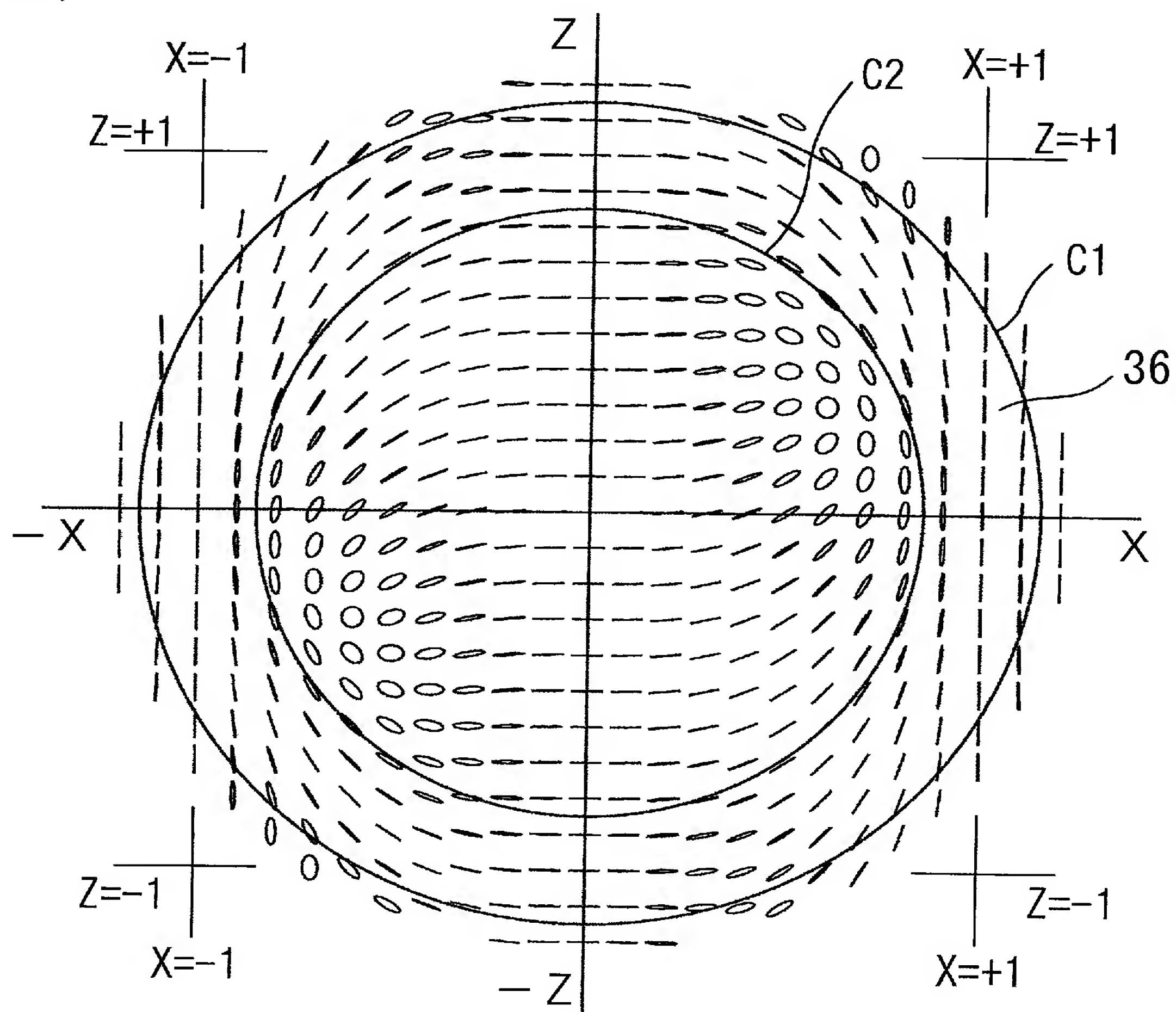
(A)

 $\Delta P1$ 

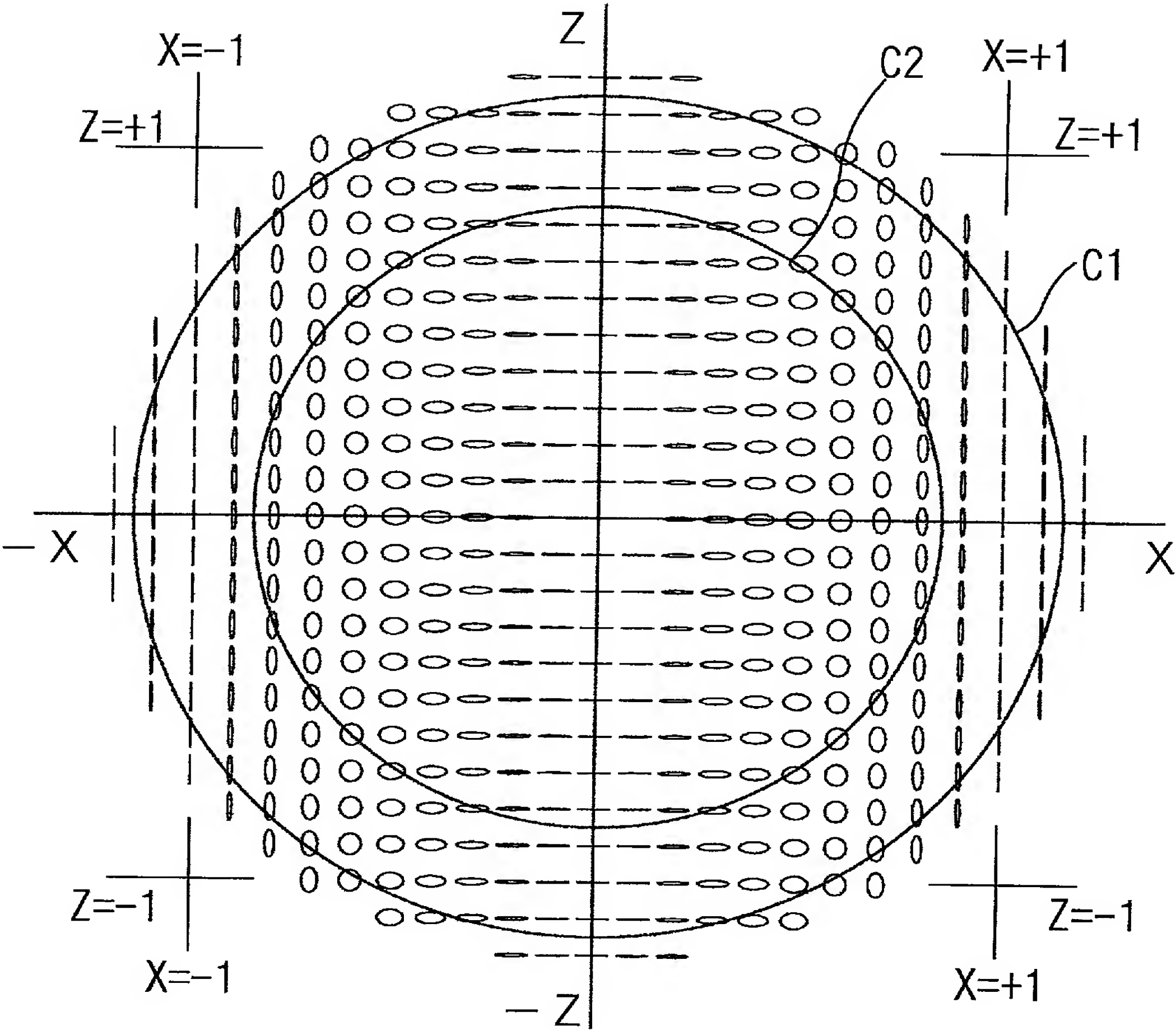
(B)

 $\Delta P2$ 

(C)

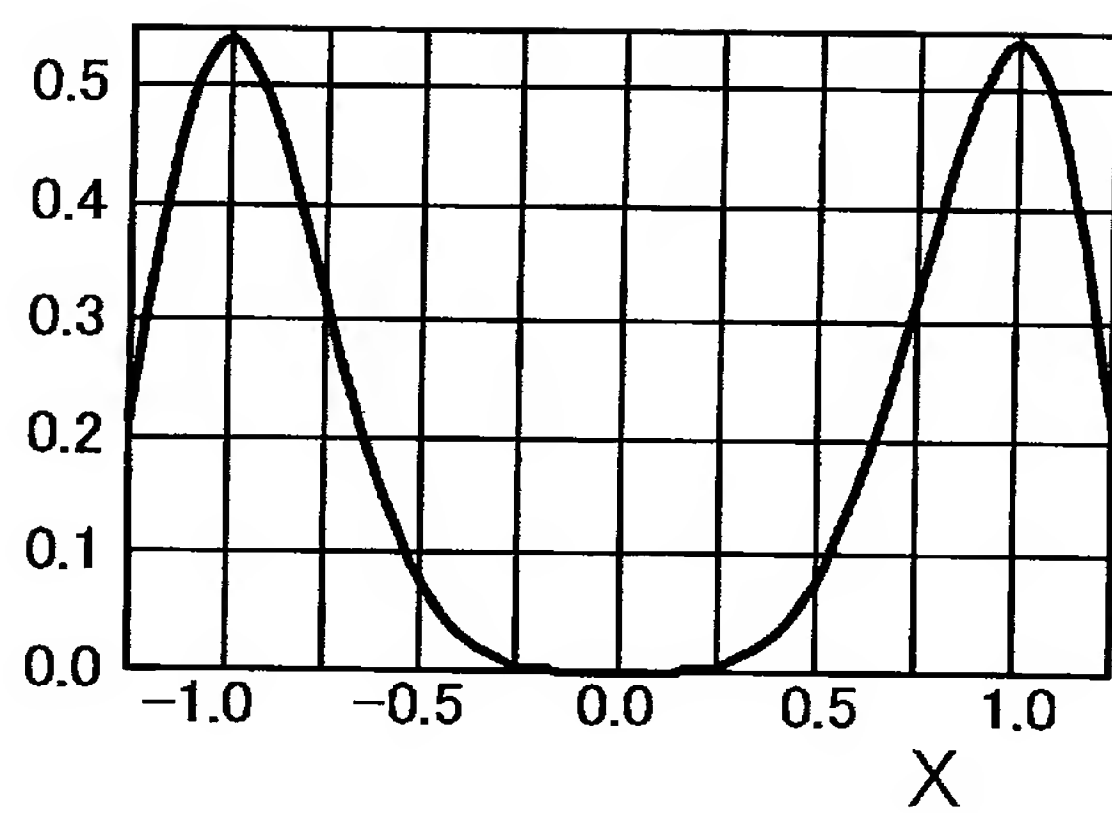


[図5]

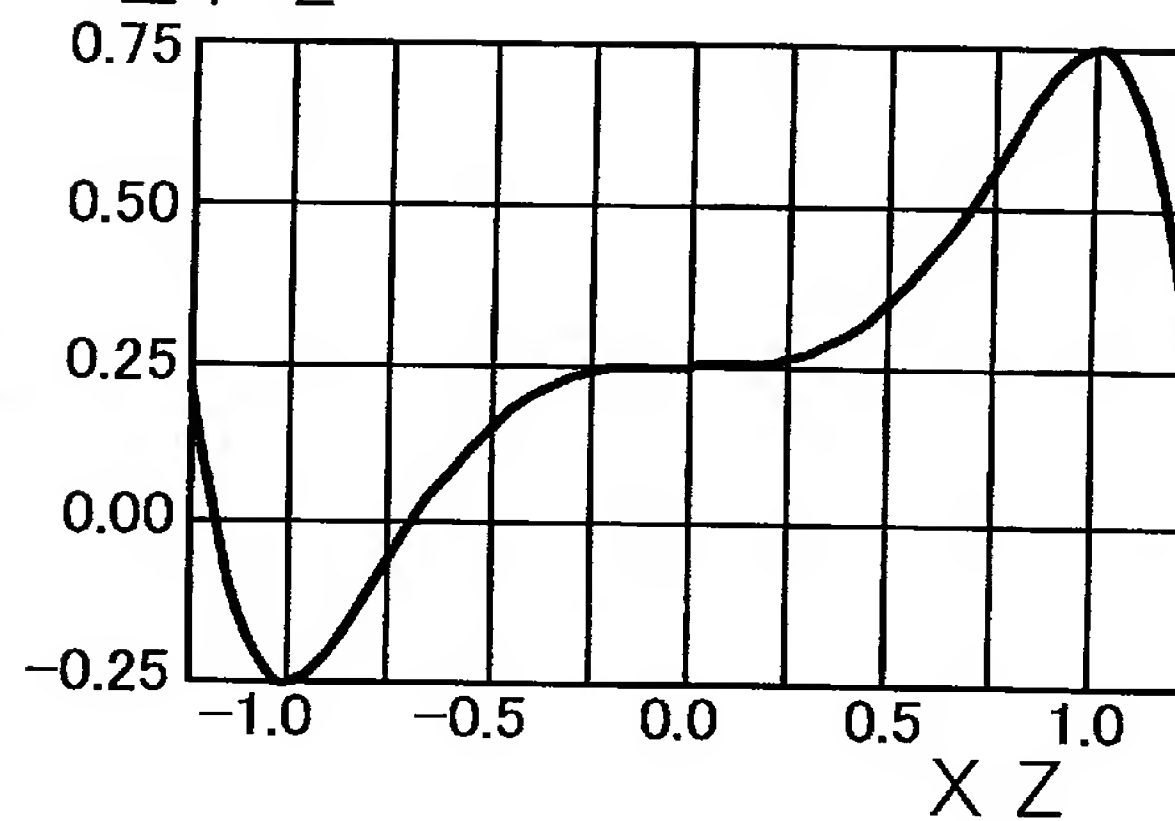


[図6]

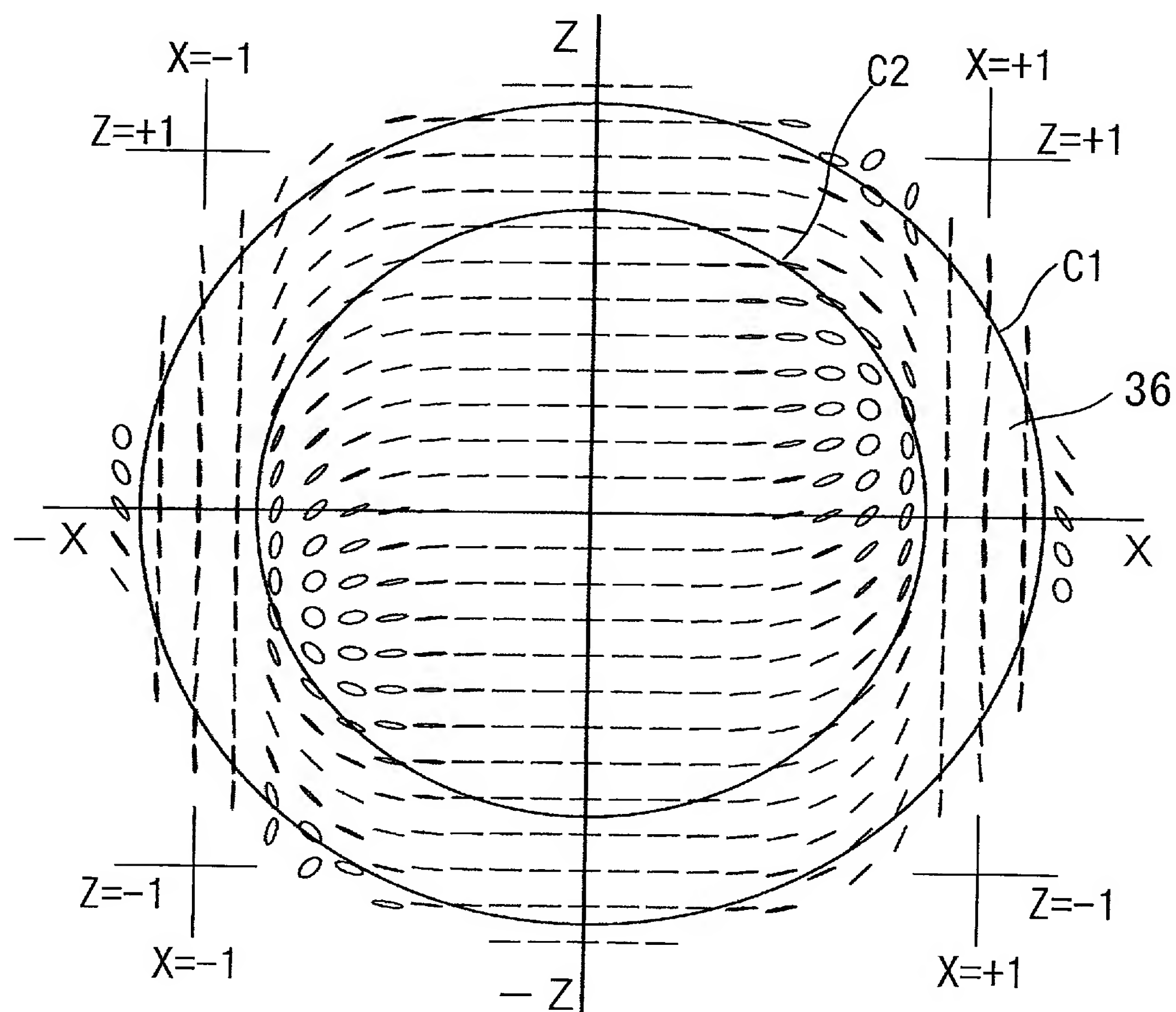
(A)

 $\Delta P 1$ 

(B)

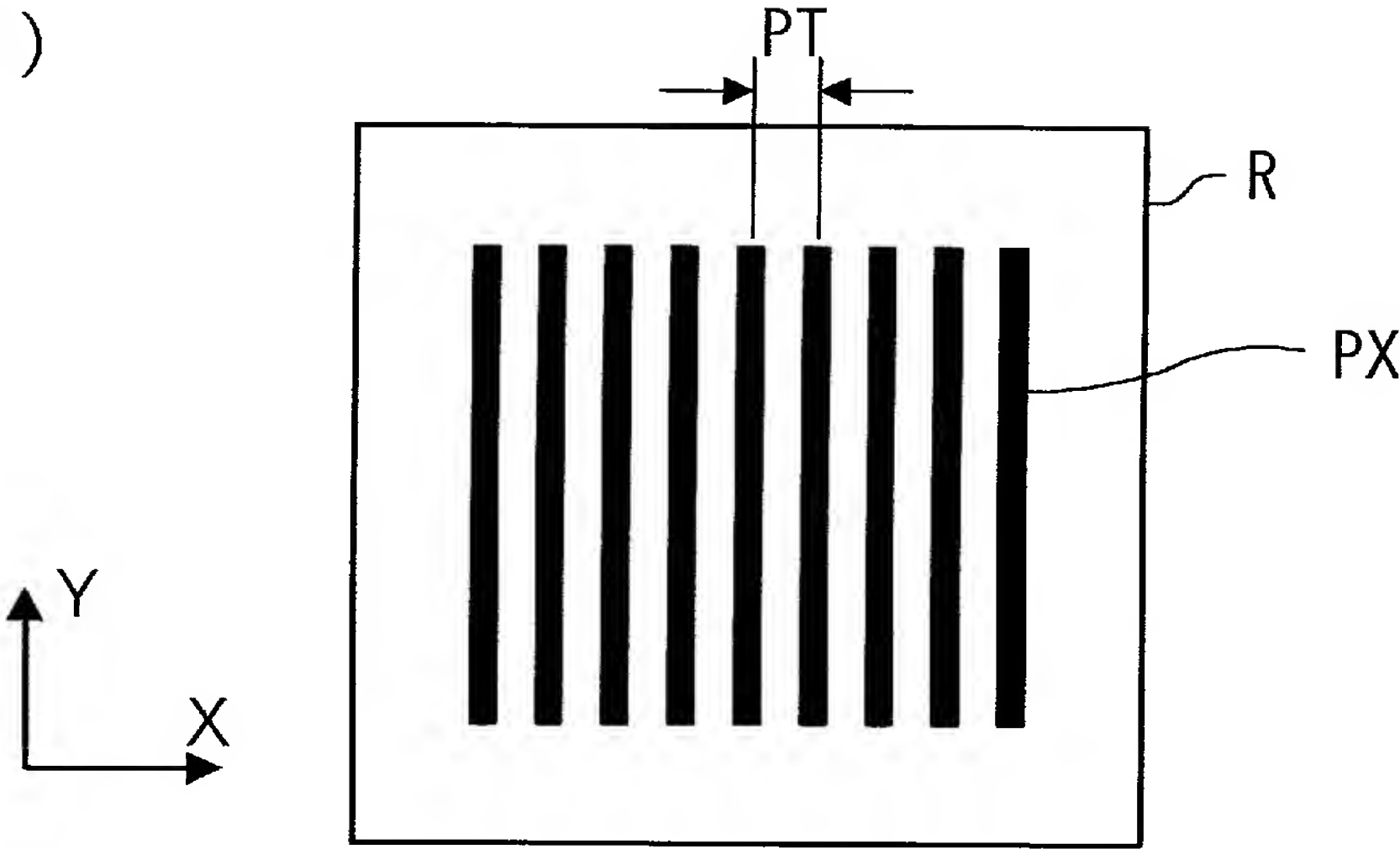
 $\Delta P 2$ 

(C)

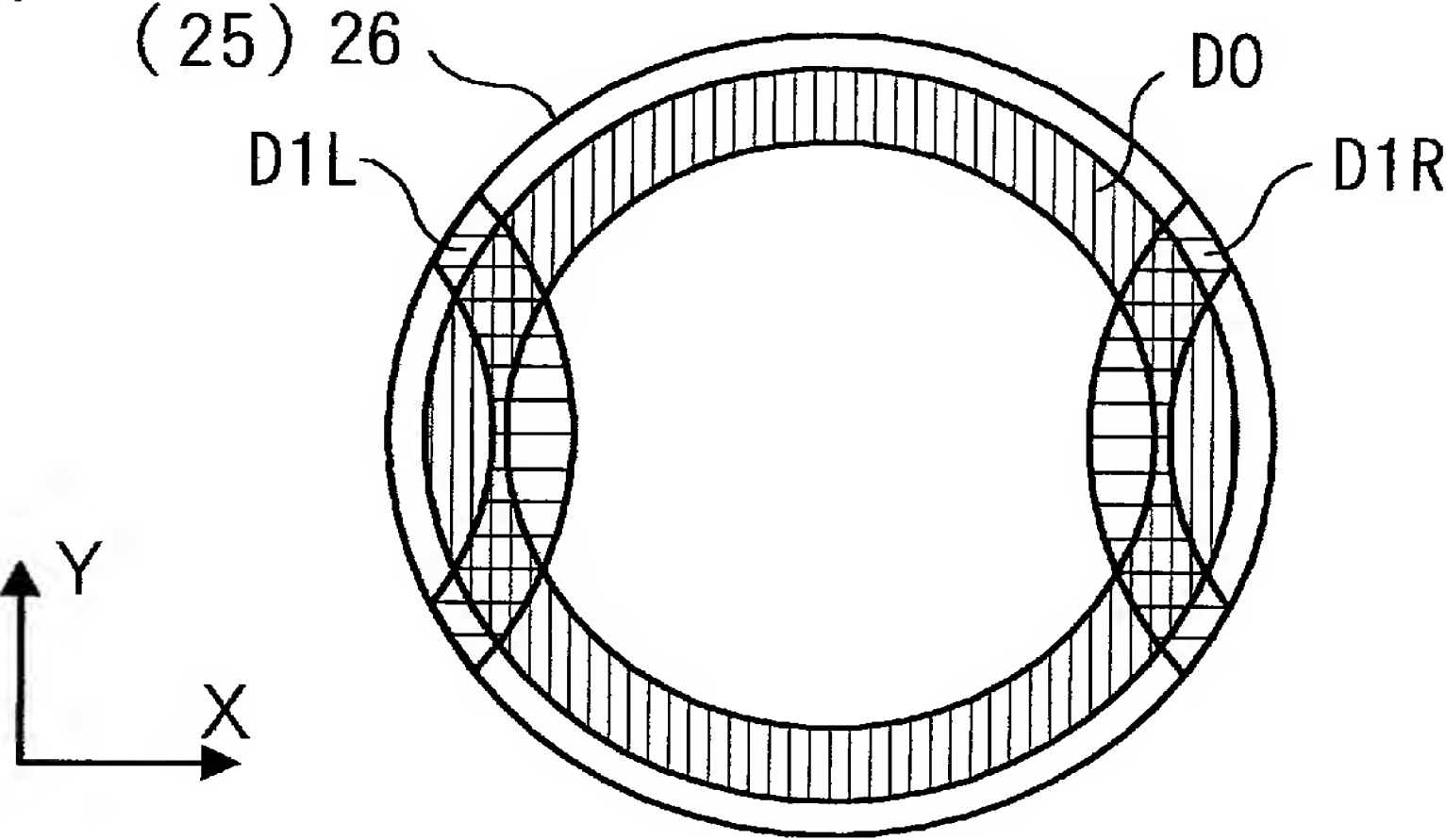


[図7]

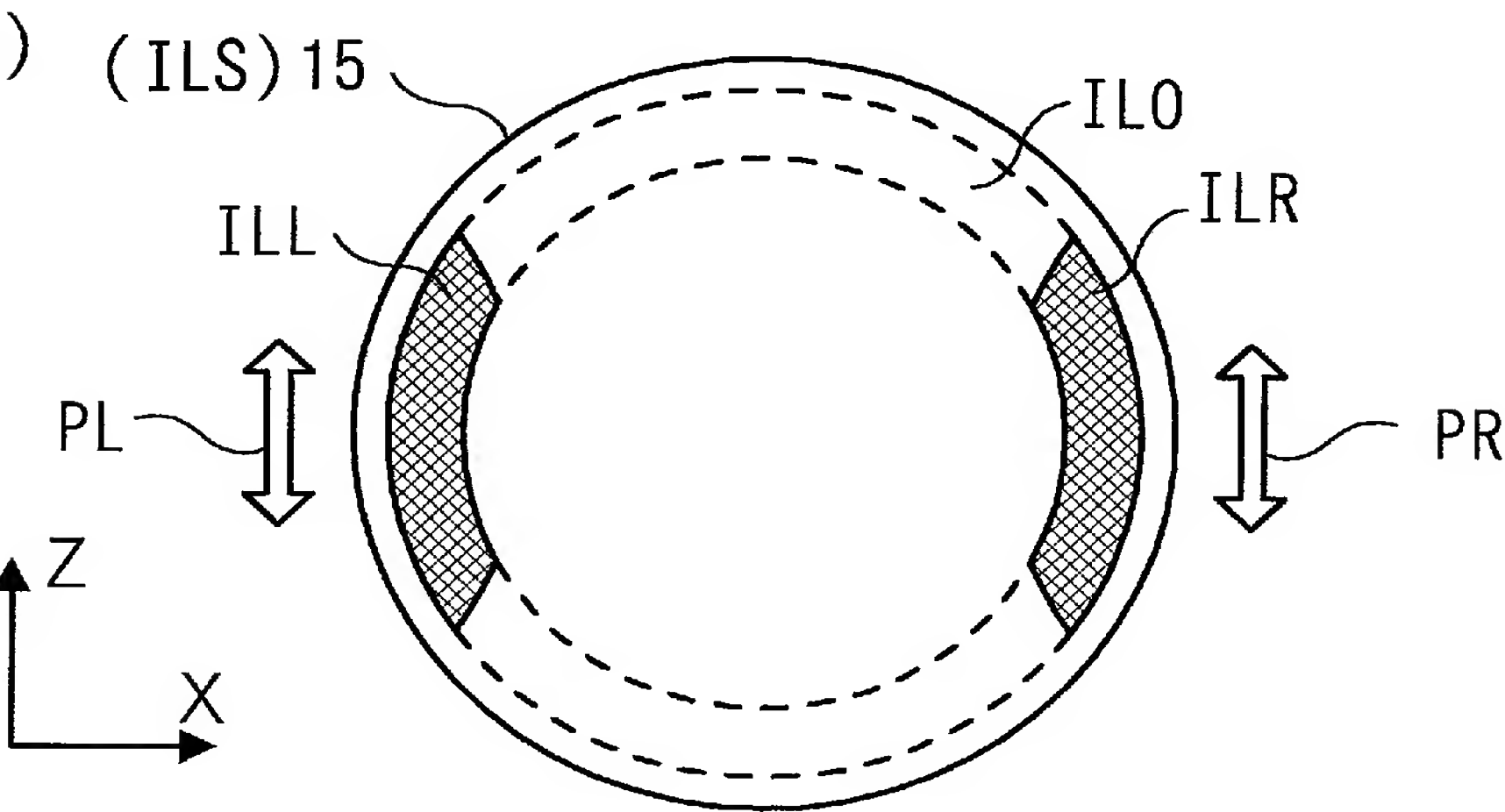
(A)



(B)

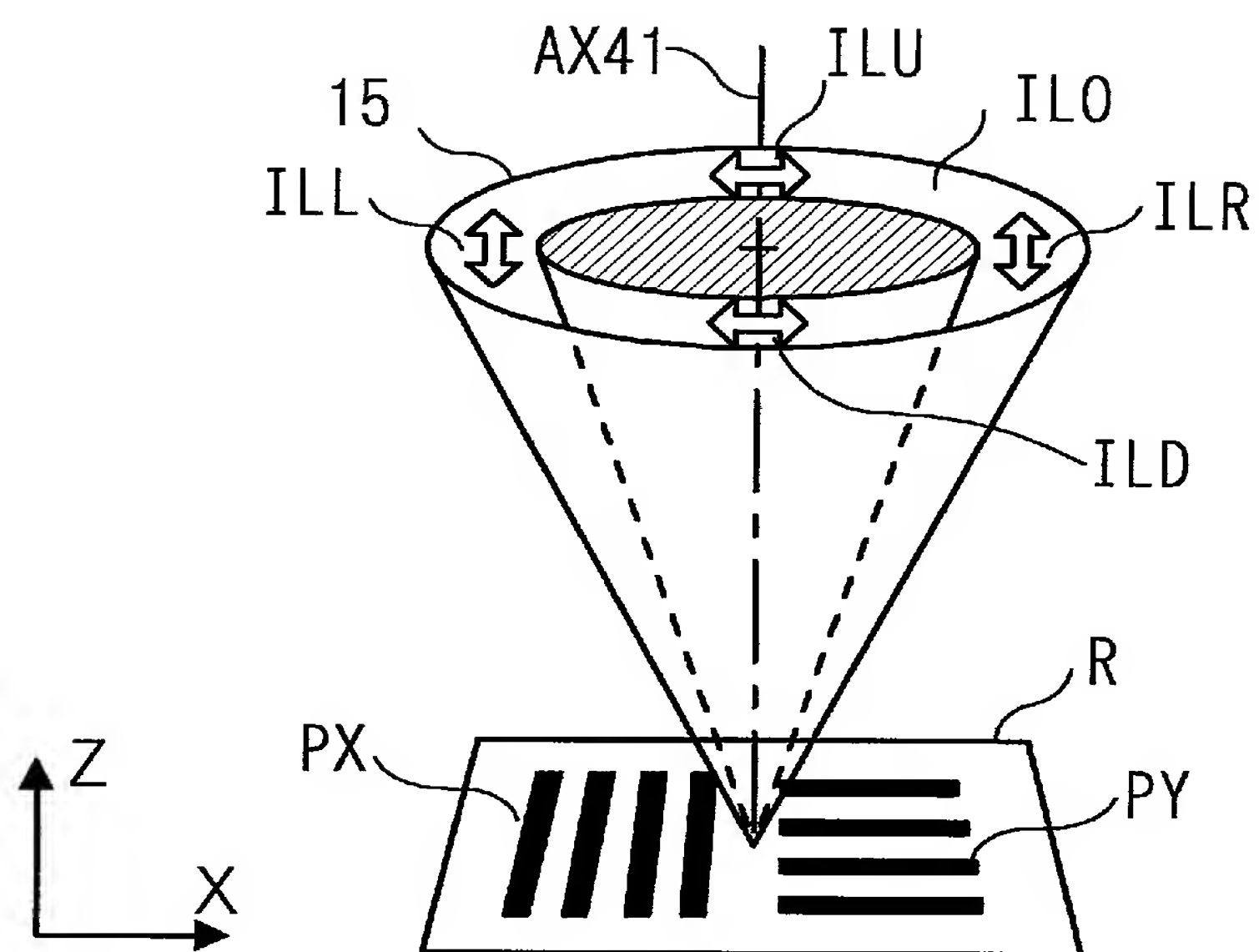


(C)

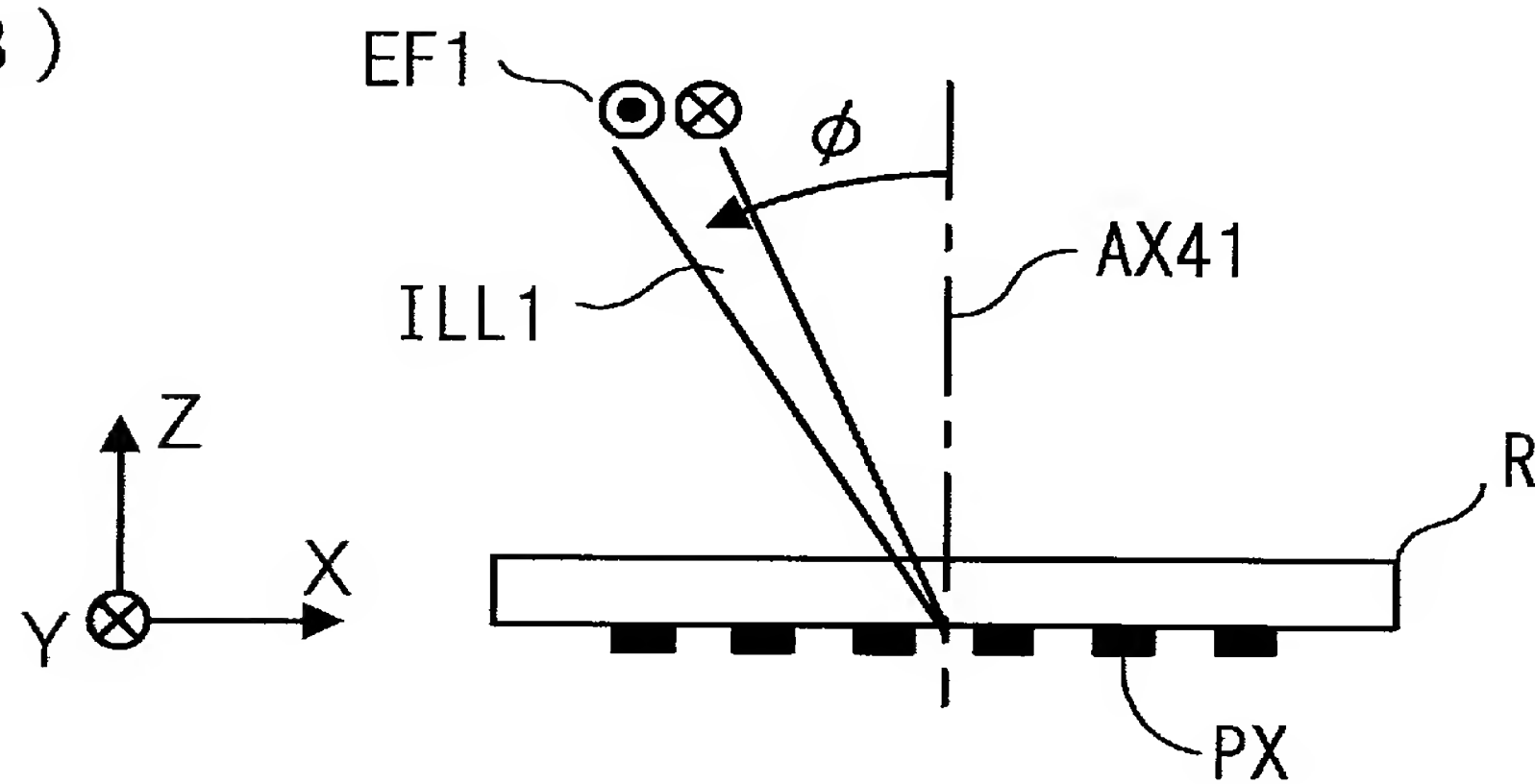


[図8]

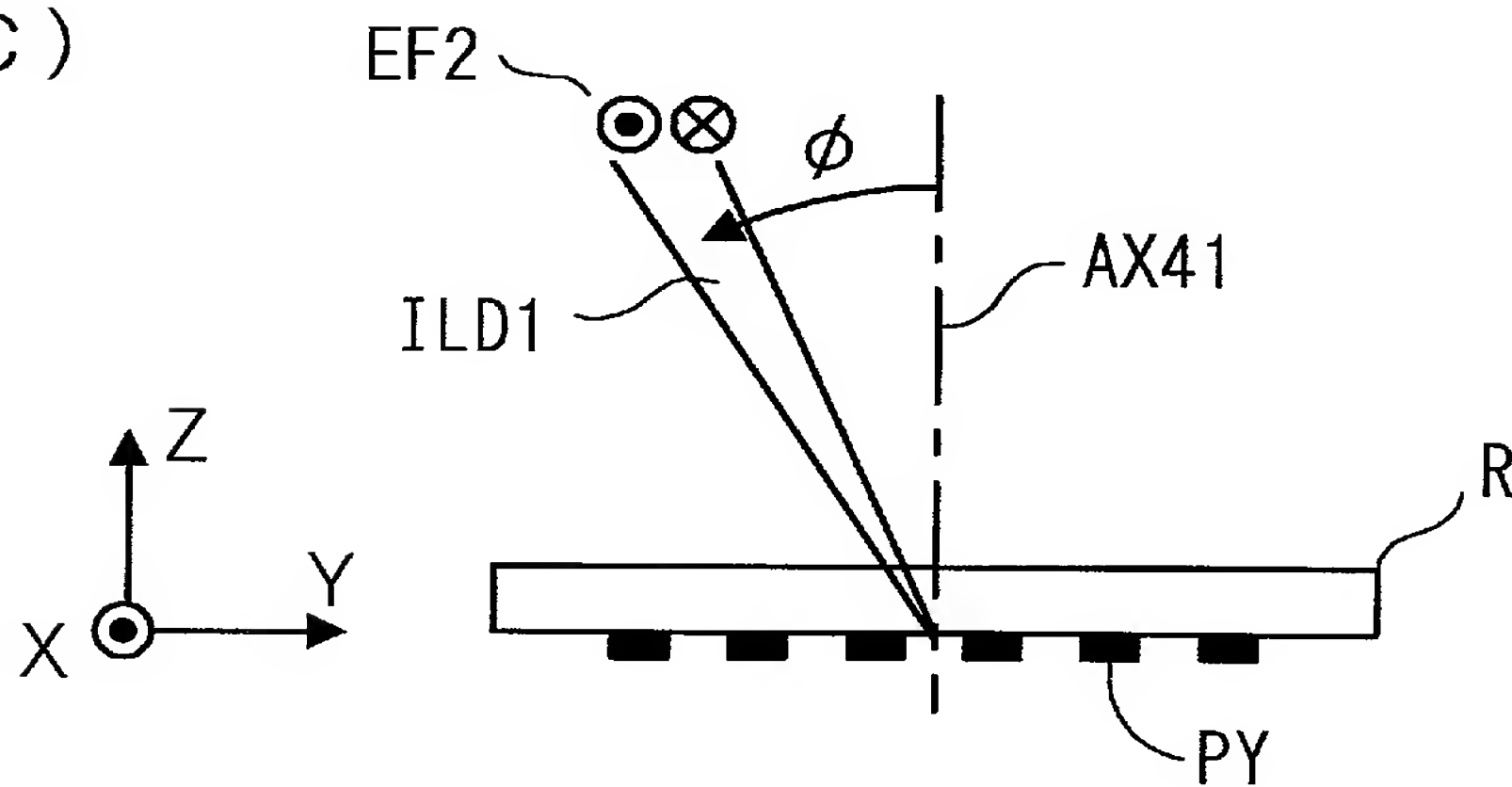
(A)



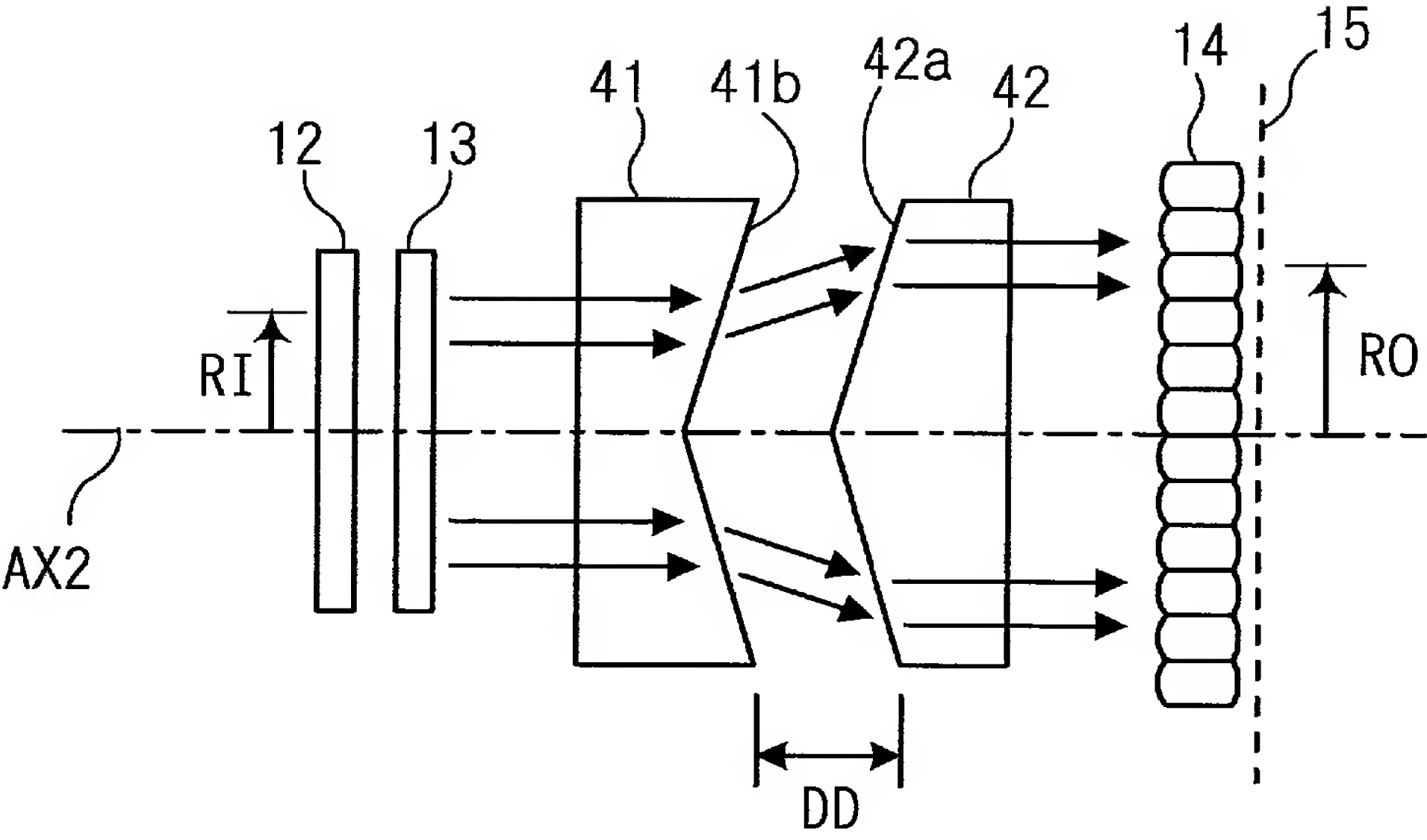
(B)



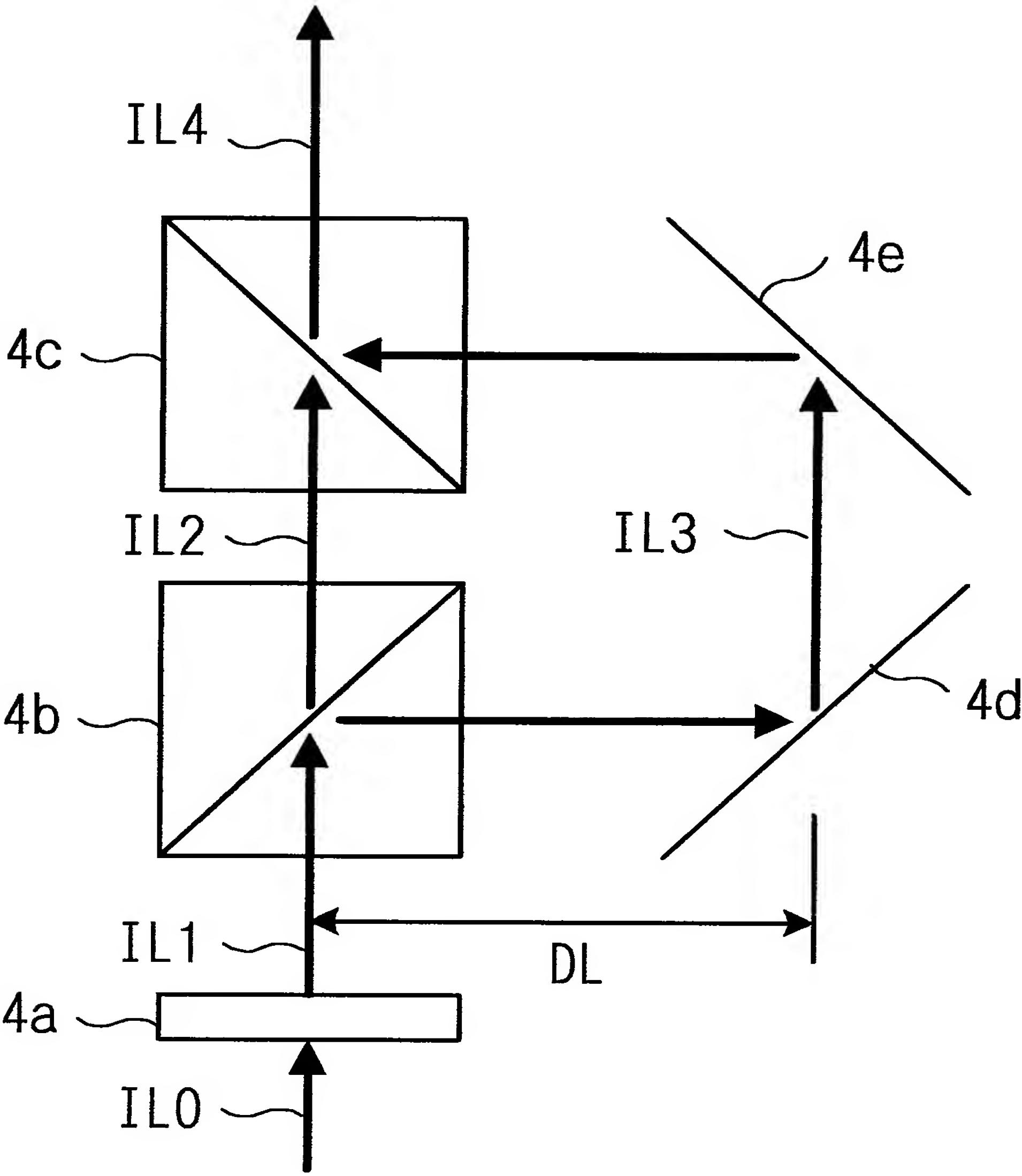
(C)



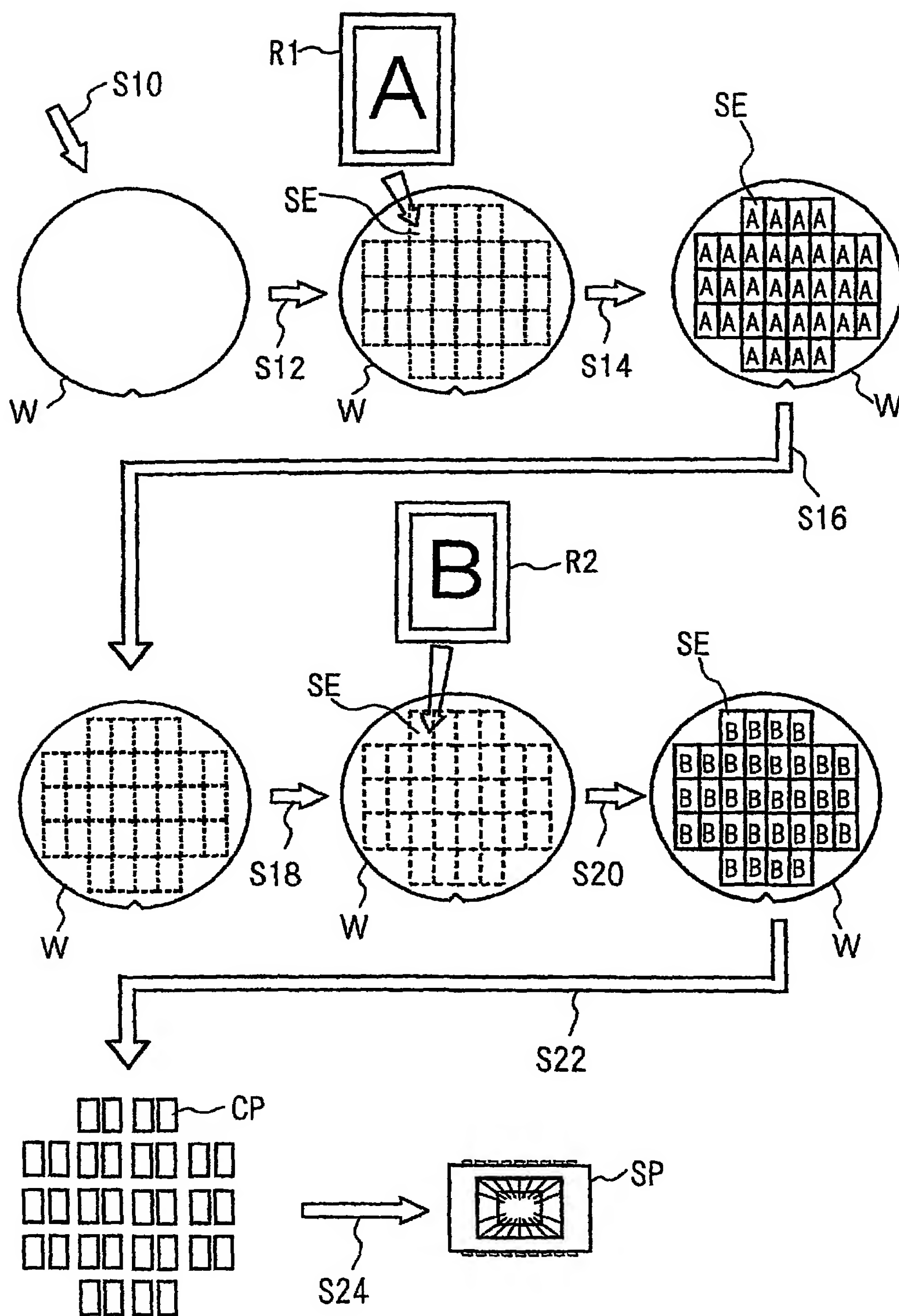
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/015853

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ H01L21/027, G03F7/20, G02B19/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ H01L21/027, G03F7/20, G02B19/00, G02B5/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 9-184918 A (Carl Zeiss Stiftung), 15 July, 1997 (15.07.97), Par. Nos. [0016] to [0032] & US 6191880 B1 & EP 764858 A2 & DE 19535392 A1	22, 23, 27, 28, 39, 40, 42
Y	JP 2003-35822 A (Carl Zeiss Semiconductor Manufacturing Technologis AG), 07 February, 2003 (07.02.03), Par. Nos. [0028] to [0042]; Fig. 5 & US 2002/0176166 A1 & EP 1260849 A1 & DE 10124803 A1	25

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
25 January, 2005 (25.01.05)

Date of mailing of the international search report
08 February, 2005 (08.02.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/015853

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 5-283317 A (Canon Inc.), 29 October, 1993 (29.10.93), Page 1; Par. No. [0056]; Figs. 7, 8 & EP 564264 A1 & US 5345292 A	24, 26, 41
A	JP 2001-274083 A (Carl Zeiss Stiftung), 05 October, 2001 (05.10.01), Par. Nos. [0023] to [0036] & US 2001/0019404 A1 & EP 1130470 A2 & DE 10010131 A1	1-42
A	WO 00/02092 A1 (Carl Zeiss Stiftung), 13 January, 2000 (13.01.00), Page 1 & JP 2002-520810 A & DE 19829612 A1 & US 6535273 B1	1-42
A	JP 2000-114157 A (Nikon Corp.), 21 April, 2000 (21.04.00), Page 1 (Family: none)	1-42
A	WO 00/67303 A1 (Nikon Corp.), 09 November, 2000 (09.11.00), Page 1 & AU 4143000 A	1-42
A	JP 7-183201 A (NEC Corp.), 21 July, 1995 (21.07.95), Page 1 (Family: none)	1-42

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int. Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20, G02B19/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int. Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20, G02B19/00, G02B5/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1926-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 9-184918 A (Carl Zeiss Stiftung) 1997.07.15 [0016]-[0032] & US 6191880 B1 & EP 764858 A2 & DE 19535392 A1	22, 23, 27, 28, 39, 40, 42
Y	JP 2003-35822 A (Carl Zeiss Semiconductor Manufacturing Technologis AG) 2003.02.07 [0028]-[0042]、図5 & US 2002/0176166 A1 & EP 1260849 A1 & DE 10124803 A1	25

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25.01.2005

国際調査報告の発送日

08.2.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

岩本 勉

2M

9355

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 5-283317 A (キヤノン株式会社) 1993. 10. 29 第1頁、[0056]、図7, 8 & EP 564264 A1 & US 5345292 A	24, 26, 41
A	JP 2001-274083 A (Carl Zeiss Stiftung) 2001. 10. 05 [0023]-[0036] & US 2001/0019404 A1 & EP 1130470 A2 & DE 10010131 A1	1-42
A	WO 00/02092 A1 (Carl Zeiss Stiftung) 2000. 01. 13 第1頁 & JP 2002-520810 A & DE 19829612 A1 & US 6535273 B1	1-42
A	JP 2000-114157 A (株式会社ニコン) 2000. 04. 21 第1頁 (ファミリーなし)	1-42
A	WO 00/67303 A1 (株式会社ニコン) 2000. 11. 09 第1頁 & AU 4143000 A	1-42
A	JP 7-183201 A (日本電気株式会社) 1995. 07. 21 第1頁 (ファミリーなし)	1-42